

HIILIKUITUISEN TRAIL-POLKUPYÖRÄN RUNGON MUOTOILU POLE BICYCLES COMPANYLLE

Samu Karjalainen

MUOTOILUN OPINNÄYTETYÖ
TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TEOLLINEN MUOTOILU | 2015



HIILIKUITUISEN TRAIL-POLKUPYÖRÄRUNGON MUOTOILU POLE BICYCLES COMPANYLLE

Opinnäytetyö tavoite oli luoda hiilikuituinen täysjousitetun trail-polkupyörärungon konsepti Pole Bicycles Companylle. Projektia varten opinnäytetyössä perehdyttiin lyhyesti hiilikuidun historiaan ja valmistusmenetelmiin. Materiaaliin perehtymisen tarkoitus oli lisätä ymmärrystä materiaalin luomista rajoitteista ja mahdollisuuksista. Materiaalin tunteminen auttaa suunniteltaessa mahdollisimman keveää, kestäväää, jäykkää ja vikkellä polkupyörä.

Suunnitteluprosessi sisälsi olemassa olevien runkojen tutkimista ja analysointia, jotta saataisiin käsitys jo toimivaksi todetuista muotoiluratkaisuista. Muita tutkimusmenetelmiä olivat muun muassa esine-, kuva- ja dokumenttianalyysi, haastattelut ja käyttöympäristön havainnointi. Menetelmillä laajennettiin käsitystä trail-pyöräilyn trendeistä ja lajin nykytilasta.

Tuotekehitysprosessin tuloksena saatiin pintaa raapaiseva tutkimus trail-polkupyörän suunnitteluprosessista ja hiilikuidun soveltuvuudesta polkupyörän runkomateriaaliksi. Opinnäytetyön lopputuloksena toimeksiantajan tarpeita vastaava visuaalinen runkokonsepti, jossa on jatkokehitys potentiaalia myös tuotantoon asti.

A CONCEPT OF FULL SUSPENSION CARBON FIBER BICYCLE FRAME

The main goal of this thesis was to create a concept for full suspension carbon fiber bicycle frame. To have better understanding of the material limitations and possibilities this thesis discusses briefly the history and development of carbon fiber. Basic knowledge on the material helps in exploration of the possibilities in frame design. The bicycle needs to be lightweight, sturdy, stiff and agile.

Design process involved study and analysis of various existing carbon fiber bicycle frames to have an idea of which design decisions have already proven to be functional. Other methods of study included object, image and document analysis, interviews and observation of use in operating environment to further expand the understanding of bicycle industry and the scene.

The outcome of this thesis was a study on material and bicycle frame design with an end result of a bicycle frame concept that meets the client's needs and is most likely to see further development in the near future.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 TAUSTAA JA TAVOITTEET	9
2.1 Toimeksianto	10
2.2 Tavoitteet	11
3 TUOTEKEHITYSPROSESSI	13
3.1 Tutkimuskysymykset	14
3.2 Viitekehys	16
3.3 Prosessikaavio	19
3.4 Tutkimusmenetelmät ja -aineisto	20
3.4.1 Dokumenttianalyysi ja haastattelut	20
3.4.2 Benchmarking ja tuoteanalyysi	21
3.4.3 Käyttöympäristön havainnointi ja role-playing	22
3.5 Materiaali	23
3.5.1 Hiilikuitu	23
3.5.2 Hiilikuidun historiaa	25
3.5.3 Hiilikuitu teknologia	26
4 POLKUPYÖRÄN SUUNNITTELUPROSESSI	30
4.1 Polkupyörän suunnittelun perusasiat	31
4.2 Geometria	34
4.3 Luonnostelu	36
4.4 3D-mallinnus	39
5 LOPULLINEN POLKUPYÖRÄKONSEPTI	41
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	63
LÄHTEET	65

KUVAT

Kuva 1. Viitekehys.	15
Kuva 2. Prosessikaavio.	18
Kuva 3. Hiilikuitupunosarkkeja (Southeast carbon works. 2012).	26
Kuva 4. Palasista kasattava hiilikuiturunko, jonka sisällä rakko (Dirt Rag 2011).	27
Kuva 5, Hiilikuiturungon poikkileikkauksen sisällä pieniä poimuja (Bikerumor 2015).	28
Kuva 6. Pinnan muotojen vaikutus jäykkyyteen ja kestävyys (Slideshare 2013).	29
Kuva 8. Polkupyörän termistö (maantiepyöräily.com 2015.)	32
Kuva 9. Polen polkupyörien geometriaa. (Pole.fi 2014)	35
Kuva 10. Moodboard	37
Kuva 11. Bensatankkikonsepti.	42
Kuva 12. Ensimmäiset luonnokset 1	43
Kuva 13. Ensimmäiset luonnokset 2	44
Kuva 14. Orgaanisia muotoja ja leijuva satulaputki	46
Kuva 15. Leijuvat satulaputket	47
Kuva 16. Aggressiivinen runkotyyli	49
Kuva 17. Luonnos tutkielman teemana aset.	51
Kuva 18. Tyydyttävän näköinen ja kehityskelpoinen konsepti.	52
Kuva 19. Konsepti vasemmalta	53
Kuva 20. Konsepti oikealta.	54
Kuva 21. Emäputken viiste ja epäsymmetrisyyden tutkimista.	55
Kuva 22. Hahmotelmia aggressiivisuuden lisäämiseksi viisteillä.	56
Kuva 23. Emäputken viiste	57
Kuva 24. 3D-tussirendaus rungosta.	58
Kuva 25. 3D-hahmotelma etuviistosta	59
Kuva 26. 3D-hahmotelma takaviistosta	59
Kuva 27. Ylä- ja alaputken timanttomainen poikkileikkauksokuva	62

JOHDANTO

1

Opinnäytetyössä käsitellään hiilikuituisen polkupyörän konseptisuunnittelua, muotoilua ja brändiin sovittamista Pole Bicycles Companylle. Pole on jyväsky-läläinen nuori polkupyöriä tehtaileva ja myyvä yritys. Yritys perustettiin 2014, ja ensimmäiset polkupyöräprototyypit tulivat testattavaksi jo samana vuonna. Pole Bicycles Companyn perustajajäsen Leo Kokkonen on innokas alamäkipyöräilyn harrastaja ja on myös kilpaillut lajin parissa. Tuotekehitys alkoi harrastuksen innoittamana. Harrastuksen tuoma kokemus lajista antoi näkemystä pyörän geometrian suunnitteluun ja lisäsi innostusta perehtyä aiheeseen syvemmin, jotta oman pyörämerkin luominen olisi mahdollista. Sittemmin toimintaa on laajennettu kattamaan myös jäykkäperäisiä maasto- ja kaupunkipyöriä. Polkupyöriä markkinoidaan korkealaatuisina, joten muotoilun ja suunnittelun lisäksi tärkeää on hyvien osavaihtojen tekeminen ja testaaminen.

Opinnäytetyöprojektin alkuvaiheessa lähdetään liikkeelle laajalla kilpailija-analyysillä ja toimeksiannon tarkemmalla määrittämisellä. Polkupyörän suunnittelussa haetaan Polen brändiin istuvaa näyttävää ja toimivaa hiilikuitukonseptia. Jotta voidaan suunnitella hyvä hiilikuiturunko, täytyy myös perehtyä hiilikuituteknologiaan ja valmistusmenetelmiin. Materiaalin ymmärtäminen luo pohjan polkupyörän suunnittelulle tukien linjavetoja ja ohjaa toimivien ratkaisujen ideointia. Materiaaliopin lisäksi perehdytään yleisesti polkupyörän suunnitteluun ja termistöön, ja selvitetään lähtökohdat polkupyörän muotoilulle.

2 TAUSTA JA TAVOITTEET

2.1 Toimeksianto

Opinnäytetyön aiheena on suunnitella ja muotoilla trail-pyöräilyyn sopiva hiilikuiturunkoisen täysjoustopolkupyörän konsepti. Tehtävänä on selvittää, kuinka pyörän käytettävyyttä ja toimivuutta voidaan edistää muotoilun keinoin. Toimivan hiilikuiturungon muotoilu edellyttää materiaaliin ja valmistusmenetelmiin perehtymistä. Toimeksiantajana toimii Pole Bicycles Company. Toimeksiantaja tähtää korkealle polkupyörämallistollaan. Yritys on perustettu vuonna 2014 ja on vasta alkanut tuottamaan pyöriä. Yrityksen tarkoituksena ei ole vain myydä ja tehtailla polkupyöriä, vaan kehittää niitä jatkuvasti paremmaksi

Polen mallistoon kuuluu tällä hetkellä teräsrunkoisia kaupunki ja maastopyöriä, sekä alumiinisia täysjoustopyöriä. Koska Polen mallistosta ei vielä tällä hetkellä löydy hiilikuiturunkoisia polkupyöriä, on toimeksiantajan tavoitteena laajentaa pyörävalikoimaa ja lisätä valikoimaan tulevaisuudessa myös hiilikuitu-runkoisia maasto- ja mahdollisesti myös maantiepyöriä.

Opinnäytetyön tarkoitus on vastata tähän puutteeseen täysjoustopolkupyörien osalta. Hiilikuiturunkoiset polkupyörät ovat suuressa suosiossa innokkaimpien harrastajien ja ammattilaisten keskuudessa, joten Pole pyrkii laajentamaan mallistoaan pian. Pole odottaa saavansa opinnäytetyön tuloksena kehityskelpoisen konseptin, joka on näyttävä ja ilmentää Polen brändiä vieden eteenpäin yrityksen polkupyörämallistoa ja tuotekehitystä.

Polen tämänhetkistä polkupyöristä näkee suoraan, mistä materiaalista pyörät on valmistettu, ja toimeksiantajan visiona oli, että tulevan hiilikuiturunkoisen trail-pyörän ulkonäkö voisi olla hieman orgaanisempi.

2.2 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda Polen brändiin sopiva konsepti, jolla voidaan kilpailla myös kansainvälisillä markkinoilla suurien valmistajien kanssa. Muodonannon lisäksi on tärkeä tutustua hiilikuituteknologiaan ja runkojen valmistusprosessiin. Lopputuotteena on tarkoitus aikaansaada toimiva ja hyvä konsepti, joka sisältää käsin piirretyt konseptikuvat ja jatkokehityskelpoisen 3D-mallin, jonka pohjalta voidaan tehdä alustavat analyysit rungon kestävyydestä. Opinnäytetyö toimii myös henkilökohtaisena oppimisprosessina ja tavoitteena on kehittyä mahdollisimman monella muotoilun osa-alueella. Projektin aikana odotan kehittyväni erityisesti tuotantokelpoisen 3D-mallin luomisessa parametrisella 3D-mallinnussovelluksella. Lisäksi kyseessä on ensimmäinen oma asiakassuhde, joten asiakassuhdetaitojen kehittyminen on odotettavaa.

3 TUOTEKEHITYSPROSESSI

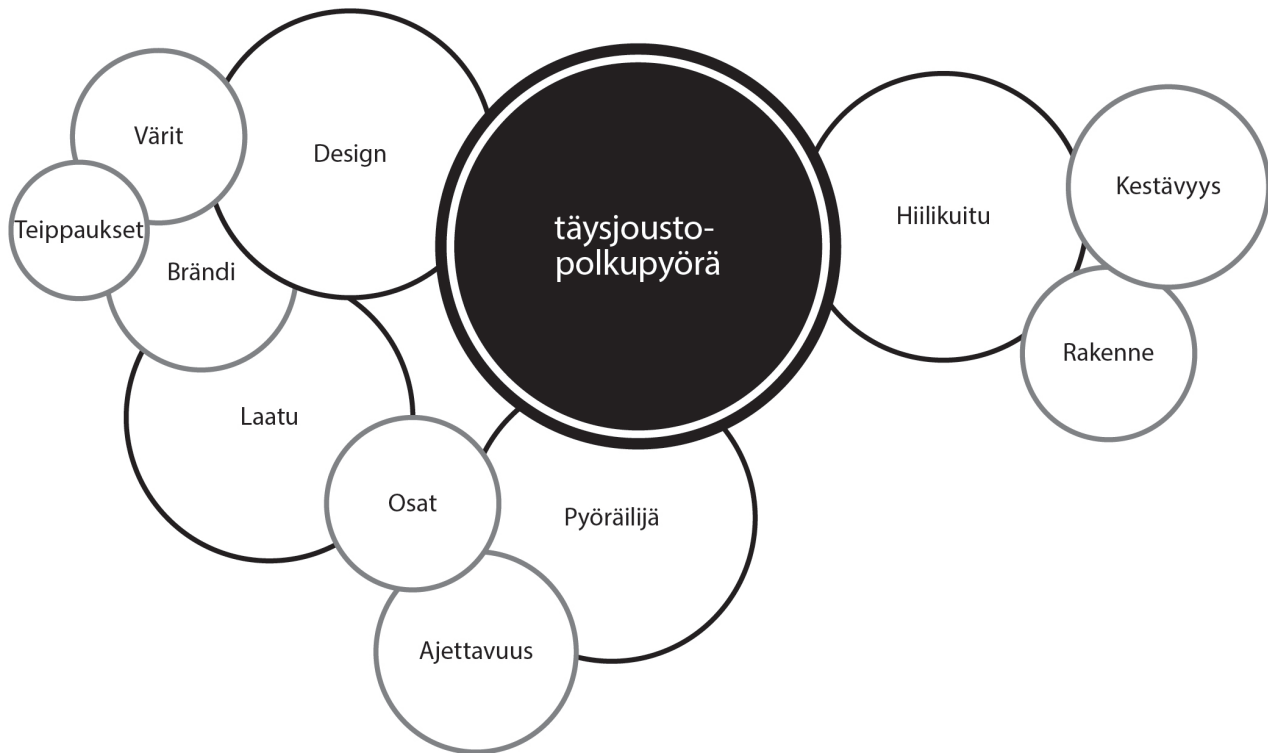
3.1 Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymykset toimivat prosessia ohjaavana apuvälineenä, tämä auttaa rajaamaan ja ohjaamaan muotoilua.

Miten hiilikuitu vaikuttaa rungon rakenteeseen? Hiilikuitu on jännittävä materiaali, joka mahdollistaa keveiden ja mielenkiintoisien rakenteiden luomisen. Muodon täytyy tukea rakennetta, jotta runko olisi äärimmäisen kestävä. Kulmat tai viisteet voivat näyttää hyvältä, mutta ne voivat luoda runkoon rakenteellista heikkoutta, jota joudutaan kompensoimaan lisäämällä materiaalin määrää.

Mitä erikoisvaatimuksia trail-pyöräily luo pyörän suunnittelulle? Koska polkupyörää suunnitellaan käyttöympäristö ja käyttötarkoitus huomioon ottaen, täytyy suunnittelussa perehtyä trail-pyöräilyn haasteisiin. Trail-pyöräily on erittäin rankka ja riskialtis laji, koska pyörillä ajetaan kovaa vaikeassa maastossa. Pyöräilijät ovat väsyneitä, ja jos pyörä oikuttelee haastavissa paikoissa voi se aiheuttaa polkupyöräilijän loukkaantumisen.

VIITEKEHYS



3.2 Viitekehys

Viitekehyksessä tuodaan esille opinnäytetyön kannalta tärkeitä ja vaikuttavia asioita (kuva 1). Keskiössä on luonnollisesti itse muotoilun kohde, täysjoustopolkupyörä. Pyörän muotoiluun vaikuttavimpia tekijöitä on tässä tapauksessa materiaali, joka mahdollistaa uudenlaisten mielenkiintoisien muotojen luonnin verrattuna perinteisesti käytettyihin materiaaleihin, kuten teräkseen ja alumiiniin.

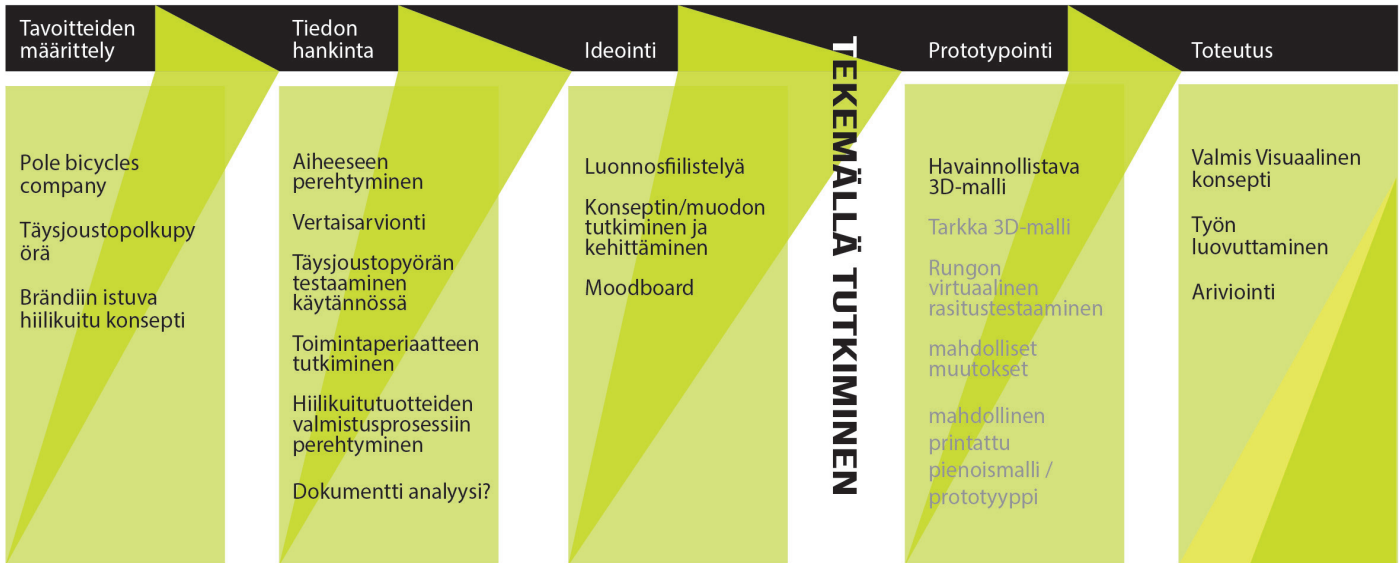
Polkupyörä muotoillaan ja suunnitellaan tarkoin, joten design tuodaan esille yhtenä tärkeimmistä asiahaaroista. Design ei vaikuta pelkästään ulkonäköön vaan myös käytettävyyteen ja kestävyYTEEN. Tämän kannalta tärkeimpiä asioita projektissa on rakenteellinen muotoilu hiilikuidun sallimissa rajoissa.

Värit ja teippaukset tukevat brändiä visuaalisina elementteinä.

Viimeistely design korostaa polkupyörän laatua, mutta ilman laadukkaita ja tarkkaan valikoituja komponentteja edes huolellisesti suunniteltu pyörä ei ole hyvä. Joten hyvien komponenttien valinta on erittäin tärkeää laadukkuutta korostettaessa. Polen polkupyörissä käytetään Rock Shoxin iskunvaimentimia, koska ne tunnetaan laadukkaina iskunvaimentimina ja ne soveltuvat erityisesti tarkoitettuun käyttöympäristöön. Suuri osa Polen polkupyörissä käytetyistä komponenteista on Sramin valmistamia. Sram on tunnettu laadukkaista, kestävästä ja hyvin suunnitelluista polkupyörän osista. Sramin komponentit ovat eri-tyyppisiä suosittuja alamäki- ja enduro-polkupyörissä.

Pyöräilijä eli käyttäjä on viitekehyksessä nostettu esille yhtenä projektin tärkeimmistä vaikuttajista. Koska käyttäjä on kohde, jolle tuote suunnitellaan. Käyttäjään liittyy myös käyttöympäristö. Polkupyörät suunnitellaan käytettäväksi vaativassa ympäristössä, joten niiden tulee kestää rasitusta ja olla pyöräilijälle varma työväline, joka kestää kovassa käytössä.

PROSESSIKAAVIO



3.3 Prosessikaavio

Prosessikaaviosta ilmenee työn vaiheet kokonaisuudessaan alusta loppuun (kuva 2). Prosessikaavio auttaa hahmottamaan prosessin vaiheita, helpottaa aikataulutusta ja ohjaa kehitystä ja työn rajausta.

Tavoitteiden määrittelykohdassa tutustutaan kehityskohteeseen ja määrittellään sekä omat, että toimeksiantajan tavoitteet, jotta saataisiin kattava kuva toimeksiannon sisällöstä. Tiedonhankintavaihe sisältää aiheen sisäistämisen ja syvemmän perehtymisen projektin kannalta merkittäviin asiahaaroihin. Tiedonhankintavaiheen tarkoitus on tukea suunnitteluprosessia ja syventää ymmärrystä käsiteltävästä aiheesta. Ideointivaiheessa tutkitaan muotoa ja kokeillaan mahdollisuuksia. Villit ideat ja luonnokset inspiroivat oikeiden valintojen syntymistä. Ideointivaiheen tuloksena saadaan raaka konsepti, jota voidaan jalostaa eteenpäin. Prototyypointivaiheen tarkoitus on viimeistellä konsepti ja luoda 3D-malli, jonka avulla voidaan todentaa muodon toimivuus ja luoda todellisuutta vastaava visuaalinen kuva tuotteesta. Prototyypoinnin avulla voidaan todeta mahdolliset ongelmakohdat ja kehittää konseptia niiden pohjalta. Viimeisenä totutusvaiheessa työ saadaan valmiiksi ja jätetään arvioitavaksi.

3.4 Tutkimus menetelmät ja -aineisto

3.4.1 Dokumenttianalyysi ja haastattelut

Dokumenttianalyysiä käyttämällä työssä haettiin tietoa muun muassa hiilikuituteknologiasta, valmistusmenetelmistä ja erityisesti menetelmien soveltamisesta velluttamisesta polkupyörän valmistuksessa. Suomessa hiilikuitutuotteiden valmistus on vähäistä ja käytettävät menetelmät eivät ole alan viimeistä teknologiaa, joten tietoa valmistusmenetelmistäkään ei löydy niin helposti. Uusin teknologia on välttämätöntä kilpailukykyisien polkupyörien valmistuksessa. Suurin osa polkupyörien hiilikuiturungoista valmistetaan Kiinassa ja Taiwanissa, joten tietoa täytyy hankkia asianomaisista lähteistä (Inring 2012).

Työssä hankittiin tietoa asiantuntijahaastatteluilla sekä lajin harrastajilta että polkupyörävalmistuksen ammattilaisilta. Haastatteluiden avulla saadaan johdatteluvaa tietoa käsiteltävästä aiheesta ja niiden pohjalta näkemystä voi syventää lisää dokumenttianalyysin avulla.

3.4.2 Benchmarking ja tuoteanalyysi

Perehdyin alan tuotteisiin tutkimalla kymmenien eri valmistajien polkupyöriä. Erityisesti perehdyin kalliimpiin pyöriin ja otin selvää, mihin selvästi korkeampi hinta perustuu. Kiinnostavimmaksi vertailukohtaksi osoittautui Specialized Demo 2015. Kyseisessä pyörässä on tehty useita hyvin samankaltaisia ratkaisuja kuin työn alla olevassa konseptissa. Kyseisen pyörän julkaisu vuoden 2015 vahvistaa, että epäsymmetrisen rungon valmistaminen hiilikuidusta on mahdollista. Verkkojulkaisu Pinkbike on tehnyt pyörästä syväluotaavan arvos-telun, jossa käydään läpi pyörän muotoilua ja rakenteellisia ratkaisuja. Benchmarking ja tuoteanalyysi syventävät kuvaa työn kohteesta ja lisäävät ymmärrystä lajin tilasta. Menetelmien avulla selviää, minkälaiset ratkaisut ovat lajin parissa todettu toimiviksi, mutta samalla voi huomata myös, missä on vielä kehittämisen varaa. Myös uusien innovaatioiden kannalta on hyvä tietää, mitä on jo tehty ja mitä ei.

3.4.3 Käyttöympäristön havainnointi ja role-playing

Pääsin suorittamaan käyttöympäristön havainnointia kilpailevan polkupyörä-valmistajan polkupyörällä Jyväskylän Laajavuoressa. Kyseessä ei ollut tosin enduro- tai trail- vaan alamäkipyöräily. Alamäkipyöräily on pyörälle haastava ympäristö, mutta ei vaadi pyöräilijältä yhtä kovaa kuntoa, koska pyörällä lähinnä vain rullataan mäkeä alas painovoiman kuljettamana. Kunnon sijaan lajissa vaaditaan hieman parempaa kehon- ja pyörän hallintaa, sekä refleksejä. Vaikka lajit poikkeavat toisistaan, käy testistä kuitenkin ilmi, kuinka polkupyörä käyt-täytyy maastossa ja minkälaiset ominaisuudet ovat pyörälle tärkeitä. Testissä koetettiin havainnoida rungon käyttäytymistä vaikeissa paikoissa ja pohtia ajettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Polkupyörän testaamisella käytännössä asetuin käyttäjän rooliin lisätäkseen ymmärrystä lajista ja sen harrastajista. Samalla sain hieman tuntumaa lajin alakulttuuriin, lisäksi käyttöympäristön havainnointi auttaa luomaan paremman kuvan siitä, mitä pyöräilijät pyörältään mahdollisesti odottavat ja mihin asioihin kannattaa suunnittelussa perehtyä.

3.5.1 Hiilikuitu

Hiilikuitu on polkupyörien valmistuksessa uusinta ja hienointa teknologiaa. Sen avulla polkupyöristä saadaan äärimmäisen kevyitä. Hiilikuitu on myös todella kestävä materiaali eikä se väsy jatkuvassa rasituksessa kuten esimerkiksi alumiini.

Pinkbike vieraili Santa Cruzin testilaboratoriossa havainnollistaakseen alumiinin ja hiilikuidun törmäysvoiman kestoja. Testissä alumiini kesti törmäyksen 664 Kg:n voimalla ja hiilikuitu 929 Kg:n voimalla (Pinkbike 2012).

Vaikka hiilikuitu on vahvaa ja kestää todella paljon jatkuvaa rasitusta (Ibis 2015), se on silti altis vahingoittumaan iskuista. Jos hiilikuiturunkoinen pyörä kokee riittävän kovan iskun tai sillä kaatuu pahasti, saattaa se vaurioittaa rungon rakennetta. Vahinko ei välttämättä näy paljaalla silmällä, mutta pyörän rakenteellinen vahvuus on voinut heiketä huomattavasti (Jim Langley 2015). Tällaisella pyörällä ajaminen voi olla hengenvaarallista, koska pyörä voi pettää alta vaarallisessa tilanteesta, jossa rungon tulisi normaalisti kestää. Hiilikuidun hyviin puoliin kuuluu sen kyky vaimentaa pyöräilijään kohdistuvaa tärinää (Composites Science and Technology Volume 71 2011). Maastoon tarkoite-tuissa pyörissä, joissa etu ja takapyörä ovat jousitettuja, tämä ei ole niin tärkeä kuin esimerkiksi maantiepyörissä, joissa renkaat ovat kovia ja rungot jäykkiä.

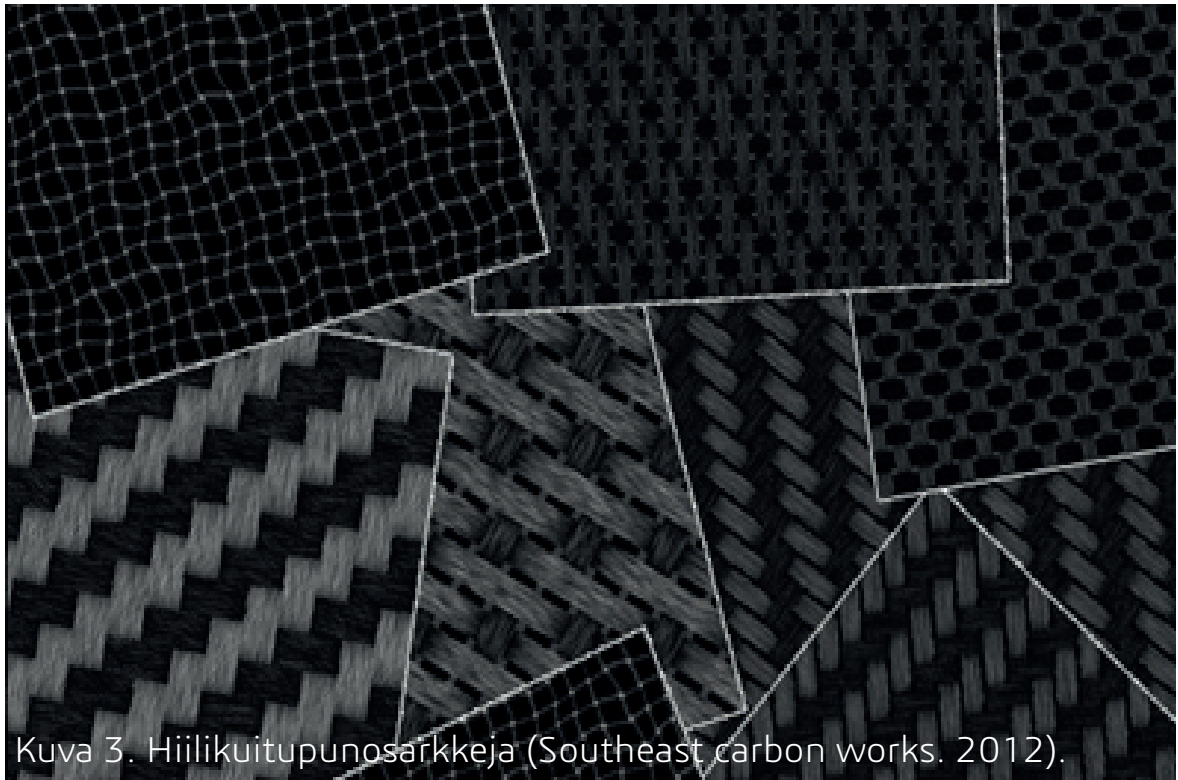
3.5.2 Hiilikuidun historiaa

Vuonna 1879 Thomas Edison loi ensimmäiset hiilikuidut paistamalla puuvillalankaa tai bambuluskoja korkeassa lämpötilassa, mikä aiheutti niiden karbonoitumisen. Tuotosta käytettiin ensimmäisessä hehkulampussa. (Lewis Ho-ward Latimer 2014.)

Vuonna 1958 Roger Bacon onnistui valmistamaan korkealaatuisempaa hiilikuitua kuumentamalla viskoosisäikeitä samaan tapaan. Menetelmä oli kuitenkin edelleen hyvin tehoton ja kuitujen hiilipitoisuus oli matala, myös hiilikuidun ominaisuudet olivat hyvin huonoja. 1960-luvun alkupuolella japanilainen Akio Shindo käytti polyakrylonitriiliä hiilikuidun raakamateriaalina ja onnistui luomaan kuidun, jonka hiilipitoisuus oli yli kaksi kertaa aiempaa korkeampi. 1960-luvun aikana etsittiin ja kokeiltiin monia uusia hiilikuidun raakamateriaaleja. Kokeilujen tuloksena löytyi öljypiki, josta saatiin hiilikuitua, jonka hiilipitoisuus oli jo neljä kertaa suurempi kuin Roger Baconin käyttämässä viskoosisäikeissä. Tämän kuidun taivutuslujuus oli jo erittäin hyvä. Sittemmin 1970-luvun lopulla valmistusmenetelmien kehittyessä markkinoille alkoi ilmestyä useampia korkealaatuisia hiilikuitulankoja, jotka pohjautuvat polyakrylonitriiliin. Polyakrylo-nitriilistä valmistetaan valtaosa nykypäivän hiilikuidusta. (ACS 2003.)

3.5.3 Hiilikuitu teknologia

Hiilikuitua on nykyään tarjolla monia eri tyyppisiä, joiden ominaisuudet eroavat toisistaan. Hiilikuitutuotteiden valmistuksessa käytetään erilaisia hiilikuitupunosvalmisteita (kuva 3) tai yhdensuuntaista pitkää hiilikuitulankaa.



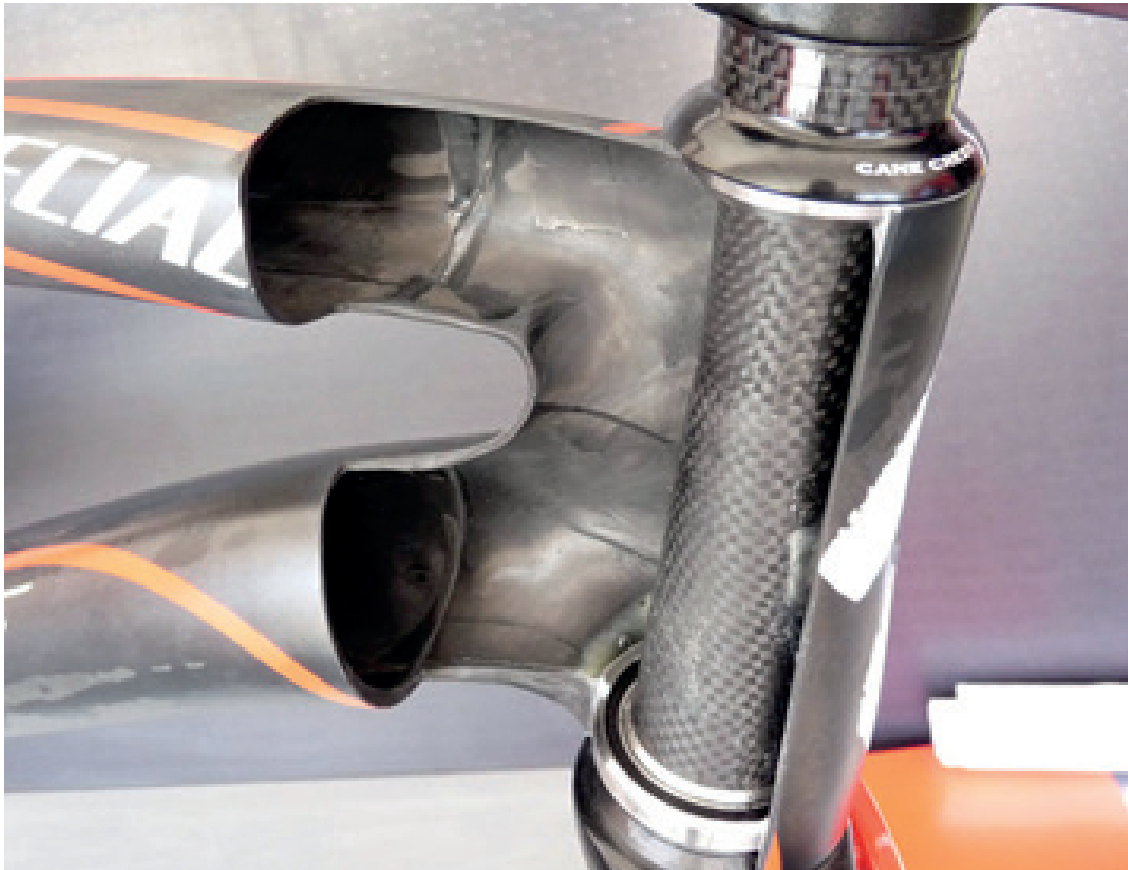
Kuva 3. Hiilikuitupunosarkkeja (Southeast carbon works. 2012).

Hiilikuituvalmisteisissa tuotteissa on kyse komposiiteista, jossa hiilikuidun si-dosmateriaalina käytetään esimerkiksi epoksiliimaa (Trek 2013). Polkupyörän rungon valmistuksessa käytettävä hiilikuitu tulee hiilikuidun valmistajalta arkkeina. Arkit leikataan sopivaan muotoon ja asetellaan käsin muotteihin. Hiilikuituarkit puristetaan muottia vasten rakolla, eli muovisella pussilla, joka puhalletaan täyteen ilmaa. Muotti laitetaan uuniin ja ulos saadaan valmis kova hiilikuitukappale (Scott 2013). Runko voidaan valmistaa kokonaisena saumattomana rakenteena tai se voidaan pilkkoa pienempiin osiin, jotka sitten liimataan yhteen epoksiliimalla (kuva 3). (Fit Wrex 2015.)



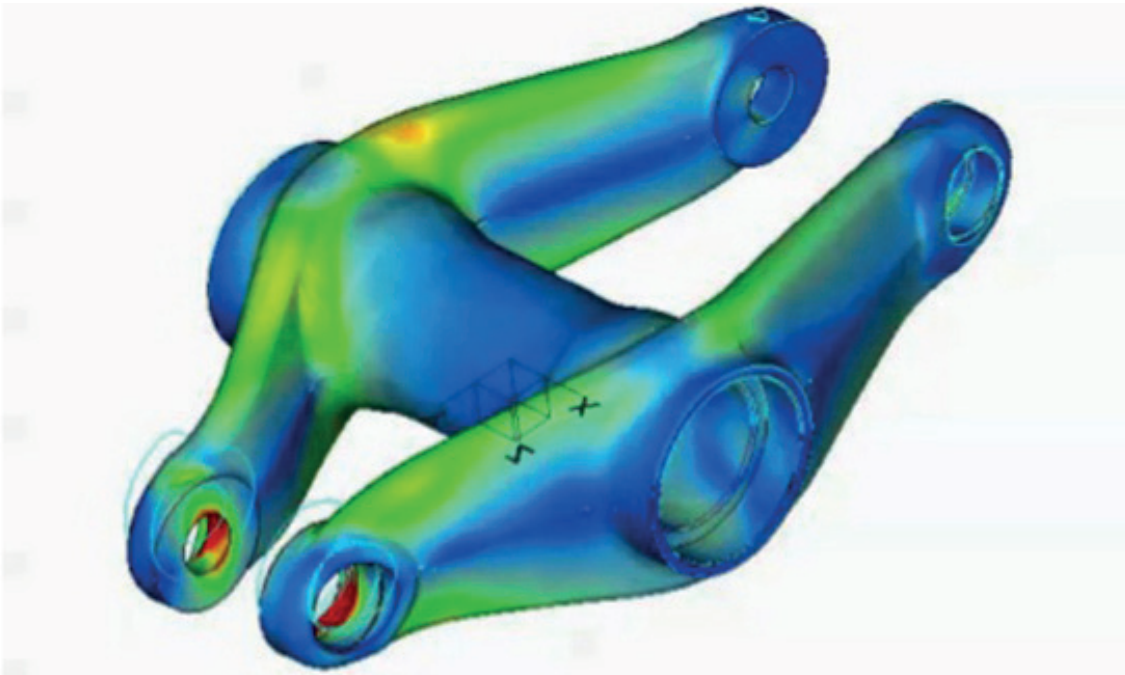
Kuva 4. Palasista kasattava hiilikuiturunko, jonka sisällä "rakko" (Dirt Rag 2011).

Pienempien osien etuna on se, että rungon sisäpintaan jää vähemmän epämuodostumia tai poimuja, mitkä voisivat aiheuttaa rungon rakenteellista heikkoutta. Liitoskohdat tosin lisäävät vaadittavan materiaalin määrää ja näin nostavat pyörän painoa. (kuva 5.)



Kuva 5, Hiilikuiturungon poikkileikkauksen sisällä pieniä poimuja (Bikerumor 2015).

Terävien kulmien välttäminen lisää rungon rakenteellista kestävyyttä erityisesti jos halutaan minimoida rungon painoa. Lisäämällä materiaalia kulmikkaisiin alueisiin saadaan kestävyyttä. Toimeksiantaja esitteli 3D-mallinnusovelluksen materiaalin kestävyysanalyysillä, kuinka hiilikuiturungon rakenteellista kestävyyttä saadaan lisättyä ennestään kasoiskaarevilla pinnoilla (kuva 6).

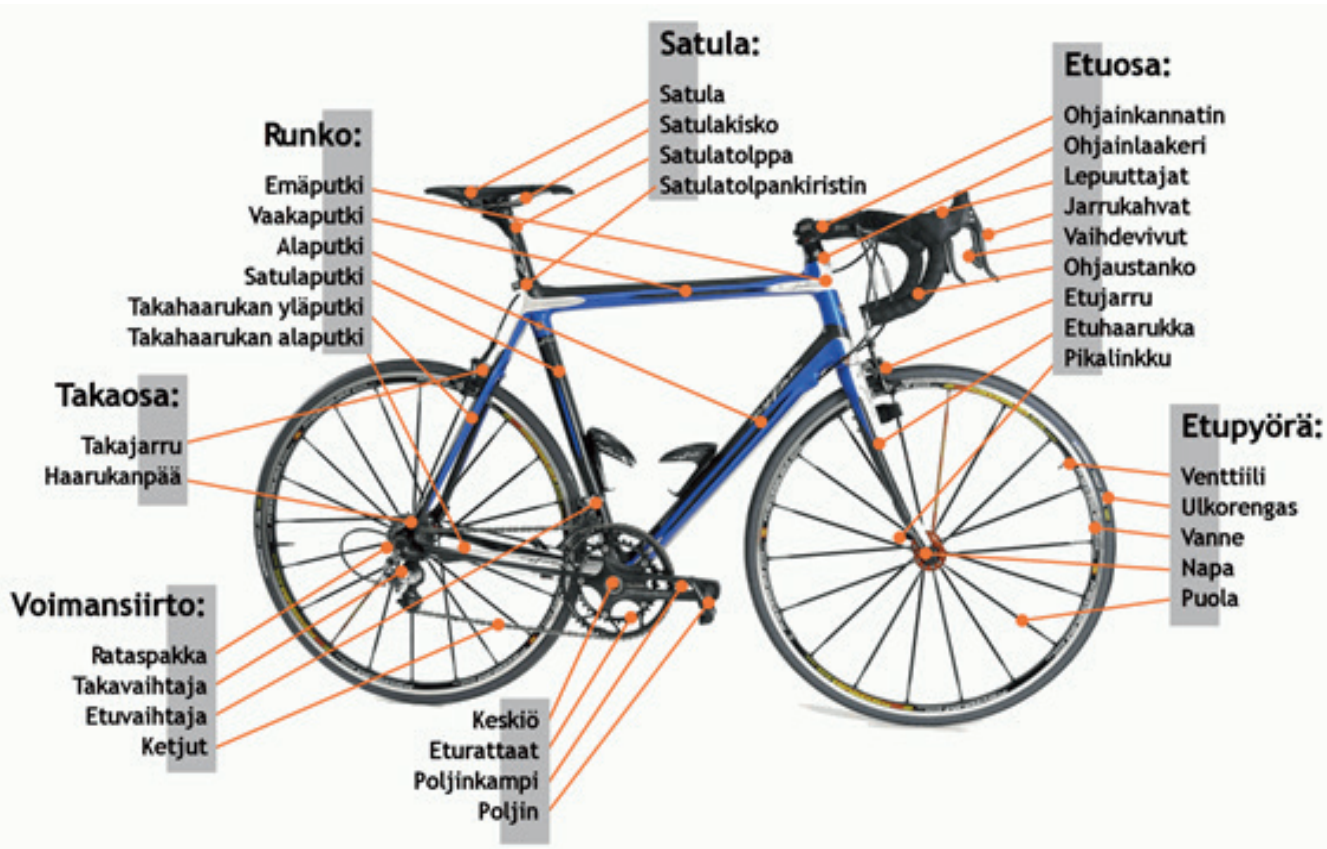


Kuva 6. Pinnan muotojen vaikutus jäykkyyteen ja kestävyuteen (Slideshare 2013).

4 SUUNNITTELUPROSESSI

4.1 Polkupyörän suunnittelun perusasiat

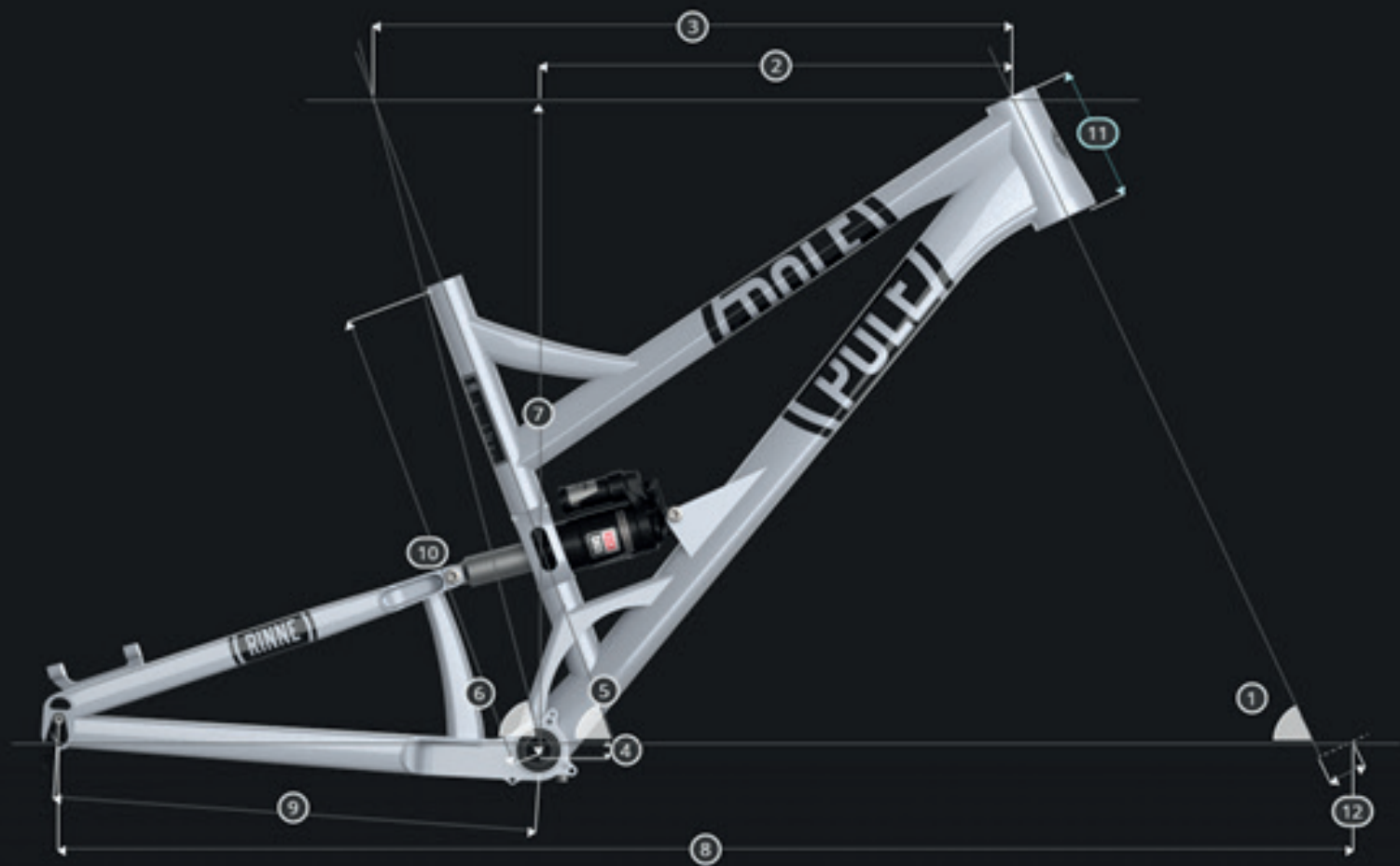
Polkupyörän suunnittelussa on tärkeää tuntee ammattisanastoa ja termistöä. Perinteisesti runko koostuu erinäisistä putkista, emäputki on rungon keulassa oleva kaikkein etummaisoin putki, jonka läpi haarukka kulkee. Emäputkeen kiinnittyvät vaakaputki ja alaputki. Näistä vaakaputki kulkee nimensä mukaisesti vaakatasossa pyörän yläosassa ja yhdistää emäputken satulaputkeen. Alaputki on viistossa kulkeva rungon alaosan putki, joka yhdistää emäputken keskiöön. Satulaputki on pystysuuntainen putki, joka liitetään perinteisesti vaakaputkeen ja keskiöön. Näin saadaan aikaan pyörän tyypillinen muodon luova kolmio. Täysjoustopolkupyörissä tämä etukolmio muodostaa pyörän rungon ja takahaarukka kiinnitetään runkoon nivelien ja iskunvaimentimen yhdistelmällä. (kuva 7.)



Takapyörää kannattelee takahaarukan ala- ja yläputket. Takahaarukassa putkia on molemmin puolin kaksi kappaletta. Alaputkia kutsutaan myös ketjuhaaraksi ja se yhdistää keskiön ja takanavan. Yläputkia kutsutaan satulahaaraksi, ja se yhdistää satulaputken takapyörän napaan. Takajarrut liitetään usein kiinni satulahaaraan. Täysjoustopolkupyörässä takahaarukka ei kuitenkaan liity runkoon kiinteästi, vaan välissä on useimmiten niveliä ja iskunvaimennin. Takahaarukkaa kutsutaan täysjoustopyörissä nimellä swingarm. Swingarm on rungon osa, joka muodostaa yhdessä etukolmion kanssa täysjoustopolkupyörän rungon. Rungon geometria koostuu näistä putkista ja niiden suhteesta toisiinsa. Näitä suhdanteita mitataan muun muassa istuinkulmalla, keskiön korkeudella, ohjauskulmalla. Pienillä muutoksilla pystytään vaikuttamaan paljon siihen, miten polkupyörä käyttäytyy ajettaessa. Esimerkiksi trailpyörissä ohjainkulmaa säätämällä loivemmaksi saadaan aikaan pyörä, jota on helpompi käsitellä jyrkässä alamäessä ja meno on varmempaa kovemmassakin vauhdissa. Ohjainkulmaa loiventamalla liikaa pyörän ajettavuus ylämäessä kärsii, joten muutosten kanssa täytyy olla varovainen ja täytyy ymmärtää, mihin kaikkeen jokin pieni muutos voi mahdollisesti vaikuttaa.

4.2 Geometria

Polen polkupyörissä geometria on tarkkaan mietitty vastaamaan käyttö-tarkoitusta. Lähtökohtaisesti geometria on mietitty alusta loppuun uu-destaan, ottamatta vaikutteita muista valmistajista. Valintojen perustana testitulokset ja pääsuunnittelijan pitkän harrastamisen tuoma kokemus. Polkupyörästä tulee tällä geometrialla hieman pidempi, kuin vastaavat pyö-rät ovat yleensä. Takanapa on hieman kauempana keskiöstä, mikä antaa tukea ylämäessä ja luo varmuutta ajamiseen. Ajettaessa kurveihin vauhdil-la takapyörän iskunvaimennus saa aikaan pyörän lyhenemisen, mikä aut-taa tekemään terävämpiä käännöksiä. Pyörän keulan ohjainkulma on hie-man totuttua loivempi (kuva 8). Tämä auttaa paljon, kun pyörällä ajetaan alamäkeen. Kulma ei ole kuitenkaan liian loiva, että se haittaisi ylämäkeen noustaessa.



Kuva 8. Polen polkupyörrien geometriaa. (Pole.fi 2014)

4.3 Luonnostelu

Opinnäytetyöprosessin alkuvaiheessa työskentelyn suuntaa haettiin toimeksiannon tarkalla määrittämisellä, jotta luonnoksilla päästäisiin haluttuun tulokseen. Tehdessäni luonnoksia käytin olemassa olevaa runkoa mallina ja koetin viilata yksityiskohtia ja miettiä minkälaisia muutoksia hiilikuitu voisi materiaalina mahdollistaa. Työn edetessä myös toimeksianto koki muutoksia ja vei projektin eteenpäin korkeammalle tasolle. Tehtäväksi muodostui koko polkupyörän ulkoisen olemuksen uudelleen suunnittelu. Tähtäimessä oli laadukas, mutta selvästi nykyisistä malleista poikkeava tyyli.

Materiaalina hiilikuitu antaa muotoiluun paljon enemmän mahdollisuuksia kuin esimerkiksi alumiini. Toimeksiantajan toiveiden mukaisesti lähdin luonnostelevaan erinäköisiä runkoja, joissa vaakaputki kulkee viistossa hyvin alas lähelle keskiötä. Välillä kokeilin myös poiketa täysin toisen näköisiin konsepteihin, mutta ne eivät juuri miellyttäneet toimeksiantajan silmää, saati omaani. Hain muotoon myös inspiraatiota pyöräilyteeman ulkopuolelta muun muassa moderneista aseista, autoista ja arkkitehtuurista (kuva 9). Kokeillessani näitä teemoja luonnoksissa esiin nousi muutamia hyviä konsepteja, jotka miellyttivät myös toimeksiantajaa. Mitä lähemmäksi toisiaan ylä- ja alaputket tulivat konseptissa, sitä paremmin sci-fi-aseista haettu inspiraatio soveltui rungolle. Hain luonnoksissa myös virtaviivaista aggressiivisuutta toisiaan tukevilla suorilla linjoilla.



Kuva 9. Moodboard

Luonnostelu on hyvä tapa tutkia muotoja ja mahdollisuuksia nopeasti. Konseptin kehitysvaiheissa tutkittiin muun muassa, miltä epäsymmetrinen tai yhdestä putkesta valmistettu swingarm voisi näyttää. Hiilikuidun ominaisuuksien ansiosta tällainen ratkaisu olisi mahdollista toteuttaa, mutta luonnosten perusteella ratkaisu ei ollut erityisen näyttävä. Lisäksi tällaisen ratkaisun toteuttaminen todennäköisesti lisäisi pyörän painoa, koska ainevahvuuksia jouduttaisiin nostamaan todella suuriksi kestävän rakenteen varmistamiseksi

Esitin toimeksiantajalle heti projektin alusta asti niin hyviä kuin huonojakin luonnoksia välittämättä liikaa niiden laadusta. Vaikka kaikki luonnokset eivät olleetkaan niin hyviä, niistä saattoi löytyä piirteitä, joita pystytään mahdollisesti jalostamaan ja hyväksikäyttämään konseptin kehityksessä. Projektin alkuvaiheessa luonnoksilla haettiin hyvää siluettia kiinnittämättä liikaa huomiota yksityiskohtiin. Toimeksiantajan tarpeita tyydyttävän siluetin löydyttyä luonnoksista poimittiin parhaita piirteitä, joita konseptin jatkekehityksessä voidaan korostaa.

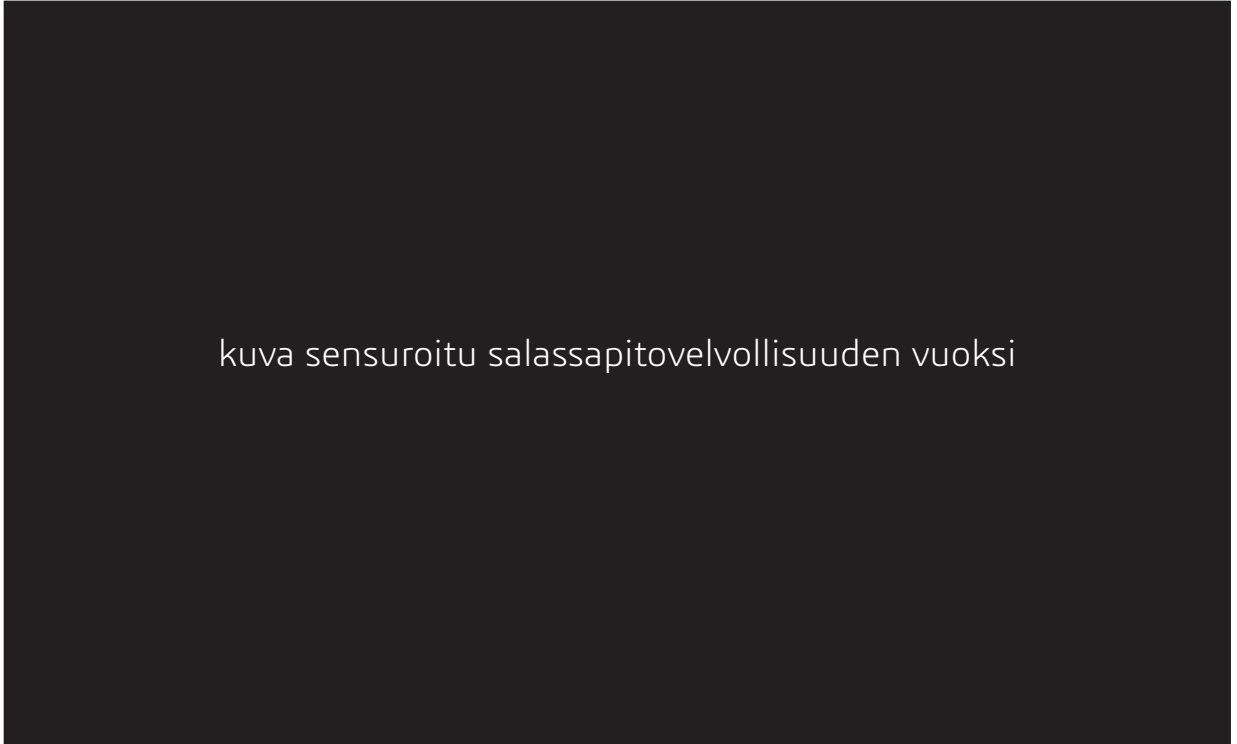
4.4 3D-mallinnus

Konseptin mallintaminen luonnosten pohjalta tapahtuu Creo 3.0 -3D-ohjelmalla. Creo, aiemmalta nimeltään Pro Engineer, on parametrisen mallinnussovellus, jossa muoto perustuu vektoreihin ja muunneltavissa oleviin arvoihin. Hyvin mallinnettuna kohde on helposti muunneltavissa arvoja vaihta-malla. Tämä on erityisen hyvä polkupyörän jatkokehityksen kannalta, koska pyörän geometriaa pystytään näitä arvoja säätämällä helposti muuttamaan ja samasta mallista pystytään myös valmistamaan erikokoisia pyöriä. Suurin haaste mallinnuksessa on iskunvaimentimen toispuolisen ohituksen toteuttaminen. Konseptiin haluttiin epäsymmetrisen ratkaisu, koska teoriassa hiilikuitu mahdollistaa sen toteuttamisen ja aloitettaessa projektia kukaan toinen pyörävalmistaja ei ollut vielä toteuttanut kyseisenlaista ratkaisua. Benchmarkingin tuloksista tosin selviää, että vuoden 2015 alkuvaiheessa Specialized julkaisi alamäkipyörän, jossa iskunvaimentimen ohitus on toteutettu vastaavalla tavalla. Epäsymmetrisen iskunvaimentimen ohituksen mallintamisessa tutkitaan mahdollisuuksia käyttää Creon ominaisuuksista löytyvää polygonipohjaista freestyle-mallinnustyökalua. Työkalun avulla muotoa voi muovata hieman muovailuvahan tavoin. Työkalun soveltaminen käytännössä on kuitenkin haastavaa, ja sen implementointi parametriseen mallinnus sovellukseen vaikuttaisi olevan edelleen kehitysvaiheessa.

Mallintaminen Creo:lla tuotti yllättävän paljon haasteita, vaikka olen mallintanut kyseisellä sovelluksella aiemminkin. Suuri osa ajasta menee eri funktioiden mieleen palauttamisessa ja käyttöliittymään uudelleentutustumisessa. Haastavien muotojen mallintaminen parametrisesti muunneltavina vaatii useita yrityksiä ja erehdyksiä. Mallintamisen joutuu aloittamaan alusta useaan otteeseen mallinnustaidon kehittyessä, koska useimmiten uudelleen mallinnettuna malli on toimivampi ja parempi. Lopputuloksena mallinnuksesta saatiin havainnollistava, mutta keskeneräinen visuaalinen malli. Tuotantokelpoisen mallin valmistaminen rajautuu opinnäytetyön ulkopuolelle.

5 LOPULLINEN KONSEPTTI

Polkupyörän konseptin kehitys alkoi haparoiden kokeilemalla ja soveltamalla erityylisiä ratkaisuja ja hankittua ymmärrystä täysjousitetuista polkupyöristä. Ensimmäisissä luonnoksissa näkyi vahvasti vaikutteita muiden pyörävalmistajien pyöristä, kuten esimerkiksi bensatankkia muistuttava ylä- ja emäputken alue. (kuva 10).



kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 10. Bensatankkikonsepti.

Vaikka alussa luonnoksista välittyvä pyörän yleisilme ei ollut toimeksiantajan toiveiden mukainen, alkoi niiden pohjalta kuitenkin kehittymään ymmärrys siitä, miltä Polen polkupyörien tulisi näyttää. Ensimmäisissä luonnoksissa (kuvat 11 ja 12) koetin nostaa esille tyyliä, jossa ylä- ja alaputket ovat hyvin lähellä toisiaan. Eniten tämä korostuu kokoelman viimeisimpänä piirretyssä luonnoksessa (kuva 12, vasen alalaita).



kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 11. Ensimmäiset luonnokset 1

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 12. Ensimmäiset luonnokset 2

Toimeksiantaja toivoi kuitenkin hieman orgaanisempaa tyyliä, joten muotoa lähdettiin tutkimaan eteenpäin tältä kannalta. Muodon tutkiminen näillä ehdoil-la ei kuitenkaan johtanut toivottuihin tuloksiin. Muotoa tutkittaessa luonnoksissa kokeiltiin myös leijuvaa satulaputkikonseptia (kuva 13, oikea alalaita). Idea kehittyi kuvan kokoelmaan ensimmäisenä piirretyn luonnoksen pohjalta (kuva 13, oikea ylälaita). Tässä luonnoksessa satulapolpan alapään hahmotelma näkyy piirretyn rungon ulkopuolella. Idean kiinnostavuus korostui teleskooppi satulaputkea tutkittaessa. Teleskooppisatulaputki mahdollistaa satulapolpan korkeuden säätämisen ohjaustangossa olevasta kytkimestä. Siten polpan itsessään ei tarvitse liikkua rungon sisällä. Kuvan 13 oikean alalaidan tyylisiä ratkaisuja tutkittiin paljon seuraavissa luonnoksissa (kuva 14.) Suurin osa niistä todettiin kuitenkin myöhemmin toimimattomiksi, koska teleskooppisatulaputki tarvitsee kiinnityspintaalukseen vähintään 90 millimetriä. Tämä vähimmäismäärä on printattuna satulaputkeen.

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 13. Orgaanisia muotoja ja leijuva satulaputki

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 14. Leijuvat satulaputket

Lopullinen konsepti kehittyi kuitenkin orgaanisien ja kaarevien linjojen sijaan aggressiivisempaan suuntaan. Luonnoksissa näkyneet viivasuorat ja aggressiiviset linjavedot saivat jatkuvasti eniten hyväksyntää. Hahmotelmat leijuvasta satulaputkesta olivat mielenkiintoisia, ja se näkyy jatkojalostettuna myös seuraavissa kehitysvaiheissa. Toimeksiantaja toivoi edelleen tässä vaiheessa, että kiristäisin ylä- ja alaputken välistä tilaa vielä pienemmäksi ja loisin enemmän tilaa rungon yläpuolelle. Samalla ruongon aggressiivisuus korostuu, joten jatkoin aiempien ideoiden pohjalta entistä kireämmän ja jäykemmän muodon hahmottelemista (kuva 15). Kuvan 15 kokoelmassa näkyy leijuva satulaputkikonseptin kehittyminen parempaan suuntaan. Nyt huomioon on otettu tarvittava pinta-ala satulatolpan kiinnittämiselle.

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 15. Aggressiivinen runkotyyli

Tässä vaiheessa rungon yleisilme oli toimeksiantajaa tyydyttävä ja siksi pysyi samana luonnoksesta toiseen. Suurimmat muutokset tapahtuivat satulaputken alueen yksityiskohtien hiomisessa. Esimerkiksi kulma jossa satulaputki ohittaa iskunvaimentimen vaihteli hieman. Satulaputken alueen tutkimisen ohella emäputkessa oleva keulan viisteen koko vaihteli luonnoksesta toiseen.

Satulaputkelle toimiva ratkaisu löytyi tutkimalla ja soveltamalla luonnoksiin modernien aseiden ulkonäköä, ottaen vaikutteita myös sci-fi teemasta (kuva 16). Näitä luonnoksia tutkimalla konsepti kehittyi varovasti lopulliseen suuntaansa. Tutkielman kaksi ensimmäistä luonnosta (kuva 16, oikea ylälaita) muistuttivat tyyliltään eniten aggressiivisien runkotyylikokoelman kehittyneintä luonnosta (kuva 15 sininen luonnos).

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 16. Luonnos tutkielman teemana aseet.

Malli pysyi luonnoksesta toiseen lähes muuttumattomana, joten viilasin sitä hieman, ja pienien muutosten jälkeen esittelin (kuvan 17, alempi luonnos) seuraavaa luonnosta toimeksiantajalle. Tulokset olivat toimeksiantajan mieleen ja orgaanisien muotojen soveltaminen konseptiin voitiin vihdoin unohtaa kokonaan. Tämä luonnos tarvitsi enää pientä yksityiskohtien hiomista, jonka jälkeen oli mahdollista siirtyä konseptin 3D-mallintamiseen ja valmistettavuuden tutkimiseen.



kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 17. Tyydyttävän näköinen ja kehityskelpoinen konsepti.

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 18. Konsepti vasemmalta

Viimeisien ja hiotuimpien Luonnosten kohdalla ei enää tehty muutoksia rungon ulkonäköön muutoin kuin värien ja teippausten hahmotelmilla. Näin saatiin korostettua kiinnostavia piirteitä ja häivytettyä vähemmän kiinnostavia (kuvat 18 ja 19). Kuviin on myös lisätty hahmotelmia logo-teippauksista.

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 19. Konsepti oikealta.

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 20. Emäputken viiste ja epäsymmetrisyyden tutkimista.

Konseptin saavuttaessa tyydyttävän sivuprofilin ja yleisilmeen täytyi ennen 3D-mallintamista siirtyttävä tutkimaan vielä tarkemmin kiinnostavia yksityiskohtia, kuten emäputken viistettä (kuvat 20, 21 ja 22).

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 21. Hahmotelmia aggressiivisuuden lisäämiseksi viisteillä.

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 22. Emäputken viiste

Ennen 3D-mallin etenemistä esityskelpoiseen vaiheeseen, konseptista tehtiin havainnollistavia 3D-hahmotelmia käsin piirtämällä (kuvat 23, 24 ja 25). Kuvien tarkoitus on havainnollistaa käsiteltävää konseptia kolmiulotteisesti ja parantaa epäsymmetrisen iskunvaimentimen ohituksen hahmotettavuutta.

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 23. 3D-tussirendaus rungosta.

kuva sensuroitu salassapito velvollisuuden vuoksi

Kuva 24. 3D-hahmotelma etuviistosta

kuva sensuroitu salassapitovelvollisuuden vuoksi

Kuva 25. 3D-hahmotelma takaviistosta

Konseptia kehitettäessä tutkittavaa teettä erityisesti iskunvaimentimen toispuolisen ohituksen toteuttaminen. Pohdittavana on esimerkiksi, kuinka paljon rakenteellista heikkoutta tällainen ratkaisu tuo tai kuinka paljon materiaalia pitää tällaisessa kohdassa olla. Pohdittavana on myös ratkaisun vaikutus pyörän painoon verrattuna esimerkiksi vaihtoehtoon, jossa runkoon tehtäisiin symmetrisesti iskunvaimentimen läpimentävä aukko.

Konseptiin haluttiin leijuva satulaputki, jossa satulapolpan kiinnityspinta-ala on minimissään. Käyttämällä teleskooppisatulaputkea voidaan tolppaan saada suuri säätövara minimalistisemmalla rungon rakenteella. Vaikka kiinnityspinta-alaa ei ole paljon saa tavallisellakin satulaputkella korkeutta säädettyä riittävästi. Satulapolpan pää tulee rungon läpi vapaasti, joten tarvittaessa sen voi työn-tää sisään niin pitkälle kunnes iskunvaimennin tulee vastaan. Ilman teleskooppisatulaa korkeuden säätövara on huomattavasti pienempi. Liian korkea satulaputki täytyy sahata lyhemmäksi, mutta tämän jälkeen siitä ei enää saa haluttaessa korkeampaa. Alkuvaiheissa luonnostelin kiinnityspinta-alaa pienemmäksi kuin sallittu minimi. Satulapolppien valmistajien oppaissa on ilmoitettu vähimmäisvaatimus kiinnityspinta-alalle. Perinteisesti tämä tarkoittaa sitä, että satulan saa näissä rajoissa nostaa niin korkealle kuin mahdollista.

Polkupyöriä suunnitellaan usein niin, että vähintään yhden juomapuolion tuli-si mahtua runkokolmion sisään. Tämä ajatus hylättiin konseptia suunniteltaessa heti alussa. Juomapullotelineen voi halutessaan kiinnittää rungon yläpuolelle jäävään tyhjään tilaan. Nykyään juomapulloja suositumpi vaihtoehto nesteytykselle on juomareppu. Repussa vesi kulkee mukana vaivattomasti ja sitä on helpompi juoda vauhdissakin. Repusta tulee olkahihnaa myöten letku lähelle suuta, jonka kautta nestettä on helpompi nauttia, ilman että tarvitsisi irrottaa käsiään ohjaustangosta.

Ylä- ja alaputkien poikkileikkausmuoto muistuttaa timanttia (kuva 26). Tämä muoto on todettu hyväksi Polen alumiinirunkoisissa pyörissä. Muodon tarkoitus on lisätä putken rakenteellista jäykkyyttä.



Kuva 26. Ylä- ja alaputken timanttimainen poikkileikkauskuva

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Toimeksiantona oli suunnitella hiilikuituinen täysjoustopolkupyörän konsepti trail-käyttöön. Konsepti tuli suunnitella ottaen huomioon materiaalin asettamat rajat ja mahdollisuudet. Materiaali oli selvästi projektin keskiössä tällaista tuotetta muotoiltaessa, joten perehdyin sen tutkimiseen erityisesti. Konseptin tuli myös ilmentää brändin ilmettä ja olla luonteva jatkumo Polen tuotemallistossa. Opinnäytetyön tavoitteena oli myös luoda tarkka 3D-malli, jonka pohjalta pys-tyisi tekemään virtuaalisen rasitusanalyysin, mutta tämä jouduttiin rajaamaan pois kohtuuttoman suurityöisenä.

Tehtävänanto oli selkeä, ja sain toimeksiantajalta palautetta paljon ja säännöllisesti. Tämän ansiosta projekti eteni luontevasti. Projektin alkuvaiheissa toimeksiantajalla oli visioinut orgaanisesta polkupyöräkonseptista. Prosessin edetessä orgaanisuus jäi taka-alalle ja lopulta unohdettiin kokonaan.

Hyödynsin tutkimusmenetelminäni ja muotoilun inspiraationa paljon kuva- ja esineanalyysiä, haastatteluita ja dokumenttianalyysiä. Koska Polen tähtäimessä on tehdä massasta poikkeava pyörä vertailun ansiosta osasin välttää liiallisia samankaltaisuuksia, muiden valmistajien kanssa.

Hiilikuituteknologiaa tutkimalla ymmärsin paremmin, mitä rajoituksia ja mahdollisuuksia materiaa asettaa muotoilulle. Sain myös käsityksen, miten runko tulee suunnitella, jotta sen voi oikeasti valmistaa.

LÄHTEET

Inring. The inner ring 2012. Who made your bike? Viitattu 25.3.2015. <http://inrng.com/2012/02/who-made-your-bike/>

PolkupyöräWiki 2015. Sanasto. Viitattu 25.3.2015. <http://www.polkupyoraily.net/wiki/Sanasto>

Georgeanattery 2015. Bicycle frame design. Viitattu 25.3.2015. <http://georgenattery.com/bicycle-frame-design/>

Ibis 2015. All about Carbon. Viitattu 25.3.2015. http://www.ibiscycles.com/support/technical_articles/all_about_carbon/

Jim Langley 2015. Caring For Carbon Fiber Bicycles And Components. Viitattu 25.3.2015. <http://jimlangley.com/articles/caring-for-carbon-fiber-bicycles-and-components-pg71.htm>

Composites Science and Technology Volume 71 2011. Vibration damping characteristics of carbon fiber-reinforced composites containing multi-walled carbon nanotubes. Viitattu 25.3.2015

Trek 2013. Trek carbon bicycles - the manufacturing. Viitattu 25.3.2015. <https://www.youtube.com/watch?v=tT4yS5wTkY0>

Scott 2013. Scott Advert Offers a Detailed View of the Carbon Fiber Manufacturing Process. Viitattu 25.3.2015. <https://www.youtube.com/watch?v=LJ46J3NQIVg>

Lewis Howard Latimer 2014. The Gifted Men Who Worked for Edison. Viitattu 25.3.2015

ACS 2003. High Performance Carbon Fibers. Viitattu 25.3.2015. <http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/carbonfibers.html>

Fit Wrex 2015. Carbon Fiber Frame Manufacturing Techniques, Part One of a Three Part Series on Carbon Fiber. Viitattu 25.3.2015. <http://tinyurl.com/pqpdqlc>

Pink Bike 2012. Pinkbike Visits The Santa Cruz Test Lab. Viitattu 25.3.2015. <http://www.pinkbike.com/video/243228/>

Pole Bicycles Company 2014. Geometry. Viitattu 25.3.2015. <http://www.pole.fi/rinne-yla/#geometry>

Maantiepyöräily.com 2015. Maantiepyörän valinta. Viitattu 25.3.2015. <http://maantiepyoraily.com/pyoran-valinta/>

Southeast carbon works 2012. What is Hydrographics? Viitattu 25.3.2015. <https://southeastcarbonworks.wordpress.com/2012/09/14/what-is-hydrographics/>

Bikerumor 2015. Viitattu 25.3.2015. http://brimages.bikeboardmedia.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2009/04/soc09-specialized-cut_021.jpg

Dirt rag 2011. New Felt bikes for 2012. Viitattu 25.3.2015. <http://dirtragemag.com/new-felt-bikes-2012/>

Slideshare 2013. Smarter design with creo/simulate and mathcad. Viitattu 25.3.2015. <http://www.slideshare.net/SebastienCoulon1/smarter-design-with-creo-and-or-creo-simulate-and-mathcad>

The truth about guns 2015. Beretta Mx4 Storm Submachine Gun: Geiger Guns Rule! Viitattu 25.3.2015. <http://www.thetruthaboutguns.com/2011/03/robert-farago/beretta-mx4-storm-submachine-gun-geiger-guns-rule/>

Fn hestral 2015. FN F2000® Standard. viitattu 25.3.2015. http://www.fnherstal.com/primary-menu/products-capabilities/rifles/general/product/182/232/182/1/_fn-f2000R-standard.html

Slick guns 2015. Steyr Aug22301. Viitattu 25.3.2015. <http://www.slick-guns.com/product/steyr-aug22301-aug-sa-16-223-1876>

Geeks top ten 2015. Top 10 Most Famous Assault Rifles of All Times. Viitattu 25.3.2015. <http://geekstopten.com/10-most-famous-assault-rifles-of-all-times/>

RPF 2011. Scratchbuilt Railgun from Concept Art. Viitattu 25.3.2015. <http://www.therpf.com/f9/scratchbuilt-railgun-concept-art-121717/>

Composites and architecture 2012. "One Ocean's" Kinetic Facade. Viitattu 25.3.2015. <http://compositesandarchitecture.com/?p=68>

Arch daily 2012. Keelung Harbor Terminal Building Proposal. Viitattu 25.3.2015. <http://www.archdaily.com/260972/keelung-harbor-terminal-building-proposal-synthesis-design-architecture-sda/>

Driving 2014. Hardcore Lamborghini Ankonian concept takes a Reventon and fuses it with a fighter jet and the Batmobile. Viitattu 25.3.2015. <http://driving.ca/lamborghini/auto-news/entertainment/this-lamborghini-is-the-batmobile-of-your-nightmares>

Sgossman 2013. Bicycle Helmets Are Only For The Cool People! Viitattu 25.3.2015. <http://sgossman.hubpages.com/hub/Bicycle-Helmets-Are-Only-For-The-Cool-People>

Architectuur 2014. Rotterdam CS officially open. Viitattu 25.3.2015. <http://www.architectuur.nl/nieuws/gedaanteverandering-rotterdam-centraal-station/>

V2EX 2012. Dust 514. Viitattu 25.3.2015. <http://www.v2ex.com/t/5089>



HIILIKUITUISEN TRAIL-POLKUPYÖRÄN RUNGON MUOTOILU POLE BICYCLES COMPANYLLE | SAMU KARJALAINEN

