

kirjeitä Erkki Palolammelle. Tutkimme Veikon kanssa Myllykirjeistä, millaisia. Samassa putkahtaa kirjan välistä kopio Kekkosen kirjeestä Veikon isälle. Päivittelemme, miten epäselvä käsiala Kekkosella olikaan, mutta kun sitä oppii lukemaan, siitä kyllä saa selvän. Olisiko Suomi saanut useamman mitalin olympialaissa, jos Kekkostä olisi toteltu? Ai, että Palolammen aloitteesta on syntynyt myös Pirkan hiihto...

Takaisin mustan pyörän tarinaan...

- Erkki Palolampi oli lahjoittanut vaarille, vaimon isälle, mustan vanhan pyörän. Vaari kävi sillä muutaman kerran poimimassa vadelmia, sitten se jäi varaston nurkkaan. Kumit olivat murtuneet, mutta kun niitä pumpattiin, niissä pysyikin ilma. Ajeltiin sillä muutama vuosi, kunnes kerran rengas räjähti. Sitten ostettiin uudet renkaat.

Erkki Palolammen (1908-1991) teokset: Kollaa kestää (1940), Viimeinen vastaisku (1941), Kuin savi valajansa käsissä (1947), Tampere taistelee 1899-1944 (1954), Miksi oikeastaan urheilimme (1958), Kunnon asiat - ja kunnottomat (1968), Kun se kerran tulee (1979), Tahkon hengessä. Urheilun puolesta, urheilua vastaan (1983). Paitsi kirjailija, Palolampi oli voimistelija.

Lähiliikenteen kone

Jaguar kulkee nyt hyvin ja toimii moitteettomasti. Ainoa huolto on se, että ketjuja joskus rasvaillaan. - Etupyörän laakerissa on löysää, mutta jos ei olisi, se on kuin Cadillacilla ajelisi, naurahtaa Veikko. Ajoasento on hyvä, sellainen pysty. Ja pyörä on hyvä ja tukevantuntuinen. Jaguar palvelee tässä lähiliikenteessä mainiosti ja on helppohoitoinen. Säilytys tosin on ollut hieman huoletonta, tuossa seinällä, räystäällä. Alkuun se ei kelvannut nuoremmalle väelle. Nyt se jo kelpaa mainiosti, kun sen helppokäyttöisyys ja ajomukavuus ovat tulleet ilmi.

Sattuma on siis tehnyt tästä Jaguarista ja miehestä hyvät ystävät. Mutta kuten olemme havainneet, meidän useimpien rakkausromuun ei rajoitu vain polkupyöriin. Vanhojen romujen ystävillä on tapana olla hellämielisiä kaikelle vanhalle tekniikalle. Niinpä tämäkin Jaguar on talvilevolla tallissa museorekisterissä olevan kuplavolkkarin kanssa, joka otetaan ajoon vain kauniina ja aurinkoisina päivinä keskikesällä. ■

Kirje lukijalta

ETT BREV AV LÄSAREN. KÄÄNN. KL

Lähetän kuvan Crescentistä, jota meillä Suomessa - viimeksi talvella Keravalla - väitetään maailman suurimmaksi polkupyöräksi. Halutaan kehuskella suurimmalla ja parhaimmalla, mutta.

Gilbert Kingin kirja The Bicycle (2002) kertoo suurimmasta katulamppujen sytyttäjän polkupyörästä. Pyörää käytettiin 1890-luvulla, jolloin kadut valaistiin kaasulamputilla. Pyörä on 8 jalkaa (2.44 m) korkea. Siitä on Pikajallassakin kuva numerossa 2/2003.

Lähetämäni kuvan pyörä on kuulunut Väinö Myllyrinteelle (1909-1963), Suomen

pisimmälle miehelle, 248 cm. Myllyrinne esiintyi sirkuksessa sen ansiosta että oli niin kookas.

Talvella Keravan taidemuseossa pidetyssä sirkusnäytellyssä Myllyrinteen Crescent oli esillä. Muun rekvisiitan ohella esillä oli kaksi korkeaa yksipyöräistäkin sekä yksi akrobaatin pyörä.

Crescentin runkokorkeus on 770 mm, 30 1/2". Maasta vaakaputkeen on metri. Rengaskoko on 26" x 2" x 1 1/2". Pyörä painaa 26 kiloa.

Havainnollistaakseni pyörän kokoa poseeraa sen vierellä.

Bjarne Backman



Miten polkupyörä toimii osa 2

Tämä artikkelisarja valottaa polkupyörän olemusta teknistieteellisestä näkökulmasta. Ensimmäisessä osassa etsittiin syytä siihen, miksi pyörä pysyy pystyssä. Tässä toisessa osassa tarkastellaan polkupyörän rakenteita mekaniikan näkökulmasta ja pohditaan muun muassa: miksi polkupyörät ovat aina vain paksumpaa putkea ja miksi ne eivät olleet sitä ennen.

Mikä runkoa turvottaa?

TEKSTI JORI MONTONEN

Käytän pyörän runkoa esimerkkinä putkimaisista komponenteista valmistetuista osista, joiden tehtävänä on välittää tukivoimia. Samaa kategoriaan kuuluvat myös ohjaustanko, -kannatin, etuhaarukka, satulaputki, sekä nykyisin jopa keskiön ja pyörien akselit sekä vanteet, jotka nekin ovat nykyisin putkea, vaikka ei siltä heti näytäkään.

Jäykkyyden ja lujuuden liitto

Rungon tehtävä on välittää voimia ja liikkeitä. Hyvä runko on riittävän jäykkä ja silti mahdollisimman kevyt. Jäykkä runko reagoi nopeasti ohjausliikkeisiin eikä jousta poljettaessa. Liian vähän jäykkyyttä omaavalla pyörällä on vaikea ajaa ja poljinvoimaa menee hukkaan -vähän niin kuin suossa juoksisi.

Pyörän rungon jäykkyydellä ei tarkoiteta niinkään rungon kuormankantokykyä, vaan sen kykyä liikkua joustamatta johtaa ohjaus- ja polkemisvoimia.

Rungon jäykkyydessä on kysymys kantavuuden sijaan enemmänkin kiertojäykkyydestä. Insinöörit puhuvat väännöstä.

Koska polkimet eivät ole rungon keskilinjalla, vaan niitä tallotaan 100-150 mm päässä rungon sivuilla, aiheuttaa polkeminen runkoon vääntömomentin, joka otetaan vastaan ohjaustangolla ja satulalla. Etuhaarukan laakerin sisältävä emäputki välittää rungon voimia ja liikkeitä molempiin suuntiin.

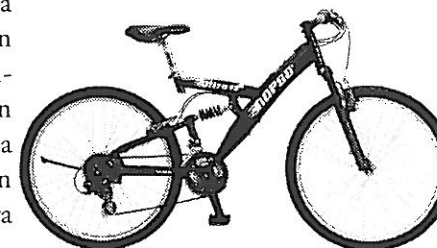
Tasapainoa ylläpitävät ohjausliikkeet vääntävät renkaan, pyörän ja haarukan kautta rungon emäputkea. Rungon kautta vääntö johtuu satulaan ja poljinkeskiölle. Polkeminen puolestaan vääntää poljinkammen ja -keskiön kautta runkoa, joka johtaa polkemisesta aiheutuvan sivumomentin satulalle ja emäputken kautta ohjaustangon.

Tätä reittiä kulkee kovan polkemisen aikana melkoisia momentteja. Uusimmissa rungoissa tämä on huomioitu poljinkeskiön ja emäputken yhdistävän rungonosan muita suurempana paksuutena.

Naistenpyörä ei ole kovin paljon hufterampi ajaa, vaikka kantavuusarvio olisi



Kolmiomaisen miestenpyörän rungon kyky kantaa kuormaa on niin suuri, että muut osat hajoavat paljon ennen runkoa. Perinteisen miestenpyörän runkomuodon lisäksi käyttökelpoisia runkomuotoja ovat myös monenlaiset naisten- ja maastopyöräkonstruktiot, joiden



Mitä suurempi ja ohutseinäisempi putki on, sitä jäykempi ja lujempi runko samasta aine-
määrästä saadaan aikaan.



antanut aiheen näin uskoa. Naistenpyörän emäputken ja poljinkeskiön yhdistää kaksi putkea, jotka molemmat kantavat vääntöä. Putket ovat toki vähän pidemmät, kuin miesten mallissa eikä toinen putki kulje keskiölle asti, mutta tämä aiheuttaa vain pienen pudotuksen polkemisjäykkyyteen. Emäputken ja poljinkeskiön välisen väännön suhteen naistenpyörän runko on miesten malliin nähden kuitenkin samaa suuruusluokkaa. Satulan ja emäputken välillä jäykkyysero on selvästi suurempi miesten eduksi.

Muodot, mitat ja materiaali

Pyörän runko on siis putkea koska ohutseinäinen kuorimainen rakenne on painon ja jäykkyyden kannalta edullisin; mitä ohutseinäisempi sen parempi. Jäykkyyden tavoittelun takia pyörän runko on nykyisin lähes poikkeuksetta ohutseinäistä putkea. Putken materiaali vaihtelee teräksestä alumiiniin ja magnesiumiin ja titaanin kautta hiilikuituepoksiin.

Mitat ja muodot vaikuttavat rungon jäykkyyteen kahdella tavalla: 1. millaista putkea runko on, ja 2. miten nämä putket on rungoksi aseteltu. Polkupyörässä käytettävän putkipalkin (*puhutaan putkipalkista, milloin putki kantaa taivutus ja vääntökuormia*) muoto on tavallisesti pyöreä, joten komponentin geometriset ominaisuudet voidaan kuvata kahdella mitalla putken halkaisijalla ja seinämän vahvuudella. Näitä kahta mittaa muuntelemalla saadaan mielenkiintoinen taulukko, joka kertoo saman painoisten putkien taivutus ja vääntöjäykkyyden ja lujuuden erilaisilla ulkohalkaisijoilla.

Kuvassa sisimpänä umpitanko Ø12,7 ja sen ympärillä putket Ø23,1, Ø42,1 ja Ø75,9; kaikki siis saman painoisia. Mitat ovat vähän hassuja, koska metripainosta on pidetty tiukasti kiinni ja kaikki materiaalit lasketaan samoilla arvoilla.

| Teräsputki Halkaisija (mm) | Seinämä (mm) | Taipuma (mm) | Jännitys (MPa) |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| 12,7 | umpitanko | 2,91 | 373 |
| 23,1 | 1,9 | 0,52 | 149 |
| 42,1 | 1,0 | 0,14 | 76,7 |
| 75,9 | 0,5 | 0,04 | 41,8 |

Taulukossa on saman painoisten putkien taipumia eri halkaisijoilla. Viimeinen luku on kyseisen putken jännitys (Mpa), joka kertoo kuinka tiukoilla putken materiaali on kun sitä taivutetaan. Toisin sanoen, mitä pienempi luku, sitä kauempana ollaan materiaalin murtumispisteestä.

Taulukosta voidaan poimia esimerkiksi, että saman painoinen umpitanko taipuu kymmenen kertaa enemmän, kuin Ø 30 mm putki, ja tangon materiaali rasittuu kolminkertaisesti, vaikka painot ja kuormat ovat molemmilla samat. Mitä suurempi ja ohutseinäisempi putki on, sitä jäykempi ja lujempi runko samasta aine-
määrästä saadaan aikaan. Taipuma vaihtelee umpitangon useasta millistä aina ohutseinäisimmän putken millin sadasosien taipumaan; Satakertainen taipuma!, vaikka molemmilla on sama kuormitus.

Valmistustekniikan kehittyminen

Varhaisimmat polkupyörät olivat umpiainetta; puuta ja sepän takomaa -, tai valettua, rautaa. Putkea ei rakenteessa juuri käytetty. Tähän oli pätevät perusteet. Sopivaa putkea ei ollut, koska ainoat putket, joita tuolloin osattiin valmistaa olivat joko suoria paksuseinäisiä valettuja rautaputkia, joita ei voinut taivuttaa, tai myöhemmin tuurnavalssattuja teräsputkia, jotka nekin olivat paksuseinäisiä ja kalliita valmistaa. Myöhemmin putkia alettiin valmistaa teräslevystä hitsaamalla, jolloin seinämän vahvuutta saatettiin ohentaa. Liitoshitsaus oli kuitenkin epävarmaa varsinkin ohutseinäisille putkille, joten rakenneputkiksi valitui luonnostaan koh-
talaisen paksuseinäisiä putkia.

Materiaalien ja hitsaustaidon yhä kehityessä putkien käyttö entisestään lisääntyi ja seinämän vahvuus oheni edelleen. Putkia opittiin taivuttamaan ja hitsaamaan putkirakenteeseen liitoksia. Siitä lähtien polkupyörät ovat olleet putkea. Kehitys jatkuu yhä samaan suuntaan seinämät ohenevat ja halkaisijat kasvavat.

Putkien liittäminen rungoksi

Polkupyörän varhaisaikoina rungon liitokset rehtiin juottamalla putket liitosmuhveihin. Tämä on lujuuden kannalta edullinen liitosmenetelmä, kun putki on ohutseinäinen, eikä hitsaaminen käytettävissä

olevin keinoin onnistu. Se on kuitenkin hitsaukseen nähden kallis tapa tehdä polkupyöriä. Putkien lisäksi täytyy valmistaa liitosmuhvit ja juottaa putket näihin kiinni. Toisaalta juottamalla valmistettuja pyörän runkoja saattoi helposti mitoittaa polkijan koon mukaan. Juottaminen ei aiheuta niin paljon ns. vetelyä, eli paikallisten korkeiden lämpötilojen aiheuttamia rakenteen sisäisiä jännityksiä, jotka vääristävät rakenteen muotoa. Juotettaessa maksimi lämpötilat ovat alhaisemmat <500°C ja lämpötilaerot vähäisemmät, kuin hitsatessa, jossa paikalliset lämpötilat ylittävät putkien sulamispisteen (teräs >1500°C). Hitsauksen onnistuminen sen sijaan edellyttää tukevaa hitsausjigii, johon osat kiinnitetään rungon muotoon hitsausta varten. Lisäksi hitsattu runko joudutaan yleensä oikomaan ra-
alla voimalla sen jäähtyttyä. Paksut putket ja oikein valittu hitsausjärjestys vähentävät vetelyä, joten robottihitsattua runkoa ei välttämättä enää jouduta oikomaan. Alumiini on vetelyn kannalta vielä terästäkin hankalampi hitsattava.

Hitsaaminen on sitä vaikeampaa, mitä ohuemmaksi hitsattavan materiaalin pak-
suus menee. Hyvin ohutseinäisiä putkia on jo todella vaikea liittää luotettavasti hit-
saamalla. Ohut seinämä palaa helposti puhki, joten hyvä hitsi vaatii suurta tarkkuutta ja varsin nopeita liikkeitä hitsauspään liikkutteluun. Tästä syystä vasta robottien käyttö mahdollisti edullisen ja luotettavan hitsin nykyisille putkihalkaisijoille ja seinämän vahvuuksille. Myös alumiinin laajempi käyttö mahdollistui vasta robottien ihmistä tarkemman hitsaustaidon avulla.

Taivutus ja muu muovailu

Myös putken taivuttaminen onnistuu sitä helpommin, mitä pienempi, ja toisaalta paksuseinäisempi, putki on. Taivutettavan putken sisäkaarten puoli lommahtaa helposti ruttuun, jos seinämä on ohut ja mutka jyrkkä. Nykyisiä ohutseinäisiä runkoputkia taivutellaan ja muovataan ns. Hydroforming menetelmällä, jossa putken sisälle pannaan vettä, jonka paine on niin suuri, että putki on aivan venymisensä rajoilla. Tässä tilassa putkea voidaan apumuottien avulla taivutella ja muovata ennennäkemättömän mutkik-

kaisiin muotoihin pelkäämättä sisäkaarten seinämän lommahtamista.

Syy siihen, mikseivät putket ole vielä ohutseinäisempiä, kuin nyt ovat, on liitok-
sissa. Ohutseinäisen putken liittäminen luotettavasti hitsaamalla on vaikeata, ja kalliit rungot tehdäänkin siksi putkista, jotka ovat paksuseinäisiä vain liitosten läheltä ja aivan ohuita putken keskivaiheilta. Toinen seinämän ohentamista rajoittava seikka on lommoutuminen. Ohut seinämä lommoutuu iskuista ja pyörästä tulee ruman näköinen. Hyvin ohutseinäisten putkien paineistamista lommoutumista vastaan on kokeiltu. Tässä idea on sama, kuin oluttölkissä. Täysi tölkki kestää lommoutumatta melkoisia tällejä, mutta tyhjä ruttaantuu helposti, eikä oluttölkkin paine ole edes renkaan paineen suuruinen.

Kotelorungot

Ihan aina ei polkupyörän runko kuitenkaan ole putkea. Muutamia yrityksiä kotelomaisen muodon käyttöön on tehty, mutta valmistuskustannukset ovat estäneet näiden rakenneratkaisuiden yleistymisen. Hiilikuitukomposiitista tehtiin 90-luvun alussa muutamia hyviä kilpapyörän kotelorakenteisia runkoja. Nämä kuitenkin kiireesti kiellettiin kilpailuissa. Samoin Helkamalla on juuri tullut myyntiin kotelomaisella magnesiumvalurungolla toteutettu juppi-
pyörä "Matrix". Maastopyöristä liikkeelle lähtenyt kehitys on selvästi johtamassa putkirunkojen muuttumiseen yhä enemmän kotelorunkojen suuntaan. Nestepaineella tehtävä "Hydroforming" menetelmä mahdollistaa putkiaihion muovaamisen yhä mielikuvituksellisempaan muotoon, ja tullee johtamaan kotelomaisiin rakenteisiin myös muissa, kuin jousitetuissa maastopyörissä.

Materiaalin vaikutus

Paitsi geometriasta, riippuu rakenteen jäykkyys, ja sen kyky vastustaa kuormituksen aiheuttamaa rikkoutumista =lujuus, myös sen materiaalista. Yksinkertaisuuden vuoksi tarkastellaan tässä kohdin pelkkää putken pätkeä ja miten sen ominaisuudet muuttuvat, kun materiaalia vaihdellaan.

Kaikilla konstruktio-
materiaaleilla on rakenteen mitoituksen kannalta neljä pää-
ominaisuutta: Lujuus σ , materiaalin jäyk-

Luulet konetta itsesi jatkeeksi.
Itse olet koneen jatke.
- Markku Envall, Rakeita.
WSOY 1983.

Valmistustekniikan kehittyessä on odotettavissa, että pyörien materiaalit yhä useammin ovat muuta materiaalia kuin terästä.

kyys (=kimmokerroin) E, tiheys ρ ja hinta €. Teräs on halpa ja jäykkä materiaali, josta on helppo valmistaa polkupyörän osia, ja osien liittäminen hitsaamalla on helppoa. Teräs on kuitenkin painavaa ja se ruostuu.

Alumiini on kilohinnaltaan selvästi kalliimpi materiaali, mutta hintaero ei polkupyörän kyseessä ollen ole kovin merkityksellinen, sillä materiaalia tarvitaan suhteellisen vähän. Alumiini on kevyempää ja joustavampaa, kuin teräs. Sen sekä ominaispaino (tiheys), että jäykkyys, ovat tasan kolmasosa teräksen arvoista. Alumiinia on siis tilavuutena käytettävissä kolminkertainen määrä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että ulos päin saman näköinen rakenne on seinämältään kolme kertaa paksumpaa. Taulukosta havaitaan, että sama jäykkyys saavutetaan huomattavasti paksuseinäisemmällä putkella, mikä helpottaa hitsaustöitä. Toisaalta alumiinin hitsaaminen on vaikeampaa, kuin teräksen, eikä alumiinin huonomman väsymisen keston takia voida hyödyntää alumiinin lujuutta yhtä loppuun asti, kuin teräksisellä rakenteella.

Magnesiumin tilanne on sama, mutta tiheys ja jäykkyys ovat vain viidesosan teräksen arvoista. Magnesiumilla on keveytensä takia suuret mahdollisuudet, joskin sen hitsaaminen taloudellisesti on toistaiseksi liian vaikeaa. Lisäksi se on korroosioherkkää.

Titaania käytetään kalleimmissa pyörisä. Senkin jäykkyyden ja tiheyden suhde on lähes sama, kuin teräksellä, mutta tiheys huomioiden sen lujuus on suuri. Myös titaanin materiaalijäykkyys eli kimmokerroin on reilu puolet teräksen jäykkyydestä, mutta lujuus lähes sama, kuin parhailla rakenneteräksillä. Tämä tarkoittaa, että se kestää suuria muodonmuutoksia murtumatta, mistä syystä se on suosittu materiaali silmälasien sangoissa. Titaanin hitsaaminen on vaikeampaa, kuin teräksen ja alumiinin, mutta sekin onnistuu osaavissa käsissä.

| | Hinta €/kg | Jäykkyys E(GPa) | Lujuus σ_m (MPa)p | Tiheys (kg/m ³) |
|------------|---------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Teräs | 0,70 | 210 | 520 | 7850 |
| Alumiini | 3,30 | 70 | 300 | 2770 |
| Magnesium | 3,50 | 45 | 200 | 1738 |
| Titaani | 15,0 | 110 | 800 | 4500 |
| Lasikuitu | 33,0 | 45 | 1000 | 2000 |
| Hiilikuitu | 200 | 130 | 2000 | 1500 |

Lasikuituisia rakenteita käytetään pyörien ns. hiilikuituosien seassa. Sinälläänkin saisi lasikuitulujitteisesta muovista yhtä jäykän ja saman painoisen osan, kuin alumiinista, mutta valmistustekniikat ovat työläitä.

Hiilikuitu on paino-jäykkyys -ominaisuuksiltaan ylivoimainen. Siitä saa aikaan todella jäykkiä ja keveitä rakenteita, mutta se vaatii paljon käsityötä. Materiaalin suhteellinen kalleus ja valmistuksen käsityöarvo tekevät siitä varsin kalliin konstruktiomateriaalin. Lisäksi hiilikuitulujitteinen muovirakenne kestää - juuri jäykkyytensä takia - huonosti iskuja kovalla esineellä. Ensimmäisiä hiilikuitusauvoja napsahdella poikki hiihtokilpailuissa yhtenä, kun sauvat kolahtivat voimakkaasti yhteen. Nykyisten hiilikuiturakenteiden pinnat varustetaan pehmeämmällä iskunvaimennuskerroksella, joten sauvan katkeamisia sattuu nykyisin vain doping testiä vältteleville hiihtäjille.

Alla on taulukon muotoon koottu rakennemateriaaleja, joita on käytetty polkupyörän osien valmistukseen. Ensimmäisessä sarakkeessa on kyseisen materiaalin - vähän epämääräinen - kilohinta. Hinta riippuu tietenkin paljon siitä, mistä ostetaan ja kuinka paljon. Toinen sarake kuvaa materiaalin jäykkyyttä. Kyseisen suureen nimi on kimmokerroin, ja se kuvaa sitä jännitystä=painetta, jolla materiaali venyy 100%. Kolmas sarake on myös jännitys arvo. Se kuvaa sitä jännitystä, jolla kyseinen materiaali murtuu. Murtolujuusarvot riippuvat erittäin paljon materiaalin seosaineista ja lämpö- ym. käsittelystä. Rakenneteräs voi murtua jo 300 MPa jännityksellä tai se saattaa kestää reilusti yli 1000 Magapaskalia (MPa) Yksi megapaskali on miljoona Paskalia, joka taas tarkoittaa painetta, joka muodostuu, kun yhtä neliometriä kuormittaa miljoonan Newtonin voima. Miljoona

Newtonia on voima, joka vastaa 100 tonnin painoa. Megapaskali on helpompi kuitenkin käsittää kun se ilmaistaan Newtonina yhtä neliömillimetriä kohti. Yksi MPa on yksi Newton/neliömillimetrille. Newton vastaa noin 100 gramman painoa.

Teräs on halvin ja jäykin. Alumiini kuin, teräksen kolmasosa -paitsi hinta on kolminkertainen. Magnesium lähes viidesosa. Titaani puolikas, paitsi lujuudeltaan teräs. Lasikuitu neljännes, mutta lujuus tupla. Hiilikuitu on jäykkää kuin teräs ja kevyttä kuin magnesium ja lujempaa kuin mikään muu.

| Ø | Teräs | | lujuus 182 |
|------------|------------------|---------|------------|
| Halkaisija | Seinämä | Taipuma | Jännitys |
| (mm) | (mm) | (mm) | (MPa) |
| 12,7 | umpitanko | 2,91 | 373 |
| 14,7 | 3,7 | 1,73 | 276 |
| 18,4 | 2,6 | 0,92 | 198 |
| 23,1 | 1,9 | 0,52 | 149 |
| 28,7 | 1,5 | 0,32 | 116 |
| 35,1 | 1,2 | 0,20 | 93,1 |
| 42,1 | 1,0 | 0,14 | 76,7 |
| 49,7 | 0,8 | 0,10 | 64,5 |
| 58,0 | 0,7 | 0,07 | 55,1 |
| 66,7 | 0,6 | 0,05 | 47,8 |
| 75,9 | 0,5 | 0,04 | 41,8 |
| Ø | Alumiini | | lujuus 105 |
| 21,4 | umpitanko | 0,94 | 77,5 |
| 23,4 | 7,0 | 0,68 | 63,5 |
| 27,1 | 5,3 | 0,43 | 49,8 |
| 31,8 | 4,2 | 0,28 | 39,7 |
| 37,4 | 3,4 | 0,19 | 32,4 |
| 43,8 | 2,8 | 0,13 | 27,0 |
| 50,8 | 2,4 | 0,09 | 22,8 |
| 58,5 | 2,0 | 0,07 | 19,6 |
| 66,7 | 1,8 | 0,05 | 17,1 |
| 75,4 | 1,6 | 0,04 | 15,0 |
| 84,7 | 1,4 | 0,03 | 13,3 |
| Ø | Magnesium | | lujuus 70 |
| 27,1 | umpitanko | 0,66 | 38,5 |
| 32,7 | 7,2 | 0,34 | 26,5 |
| 43,1 | 4,8 | 0,16 | 18,1 |
| 64,1 | 3,0 | 0,06 | 11,4 |
| 81,1 | 2,3 | 0,04 | 8,8 |
| 90,3 | 2,1 | 0,03 | 7,9 |
| Ø | Titaani | | lujuus 280 |
| 16,8 | umpitanko | 1,81 | 161 |
| 22,5 | 3,8 | 0,70 | 95,0 |
| 32,8 | 2,3 | 0,27 | 58,9 |
| 46,2 | 1,6 | 0,13 | 40,3 |
| 62,1 | 1,2 | 0,07 | 29,5 |
| 80,1 | 0,9 | 0,04 | 22,7 |
| Ø | Lasikuituepoksi | | lujuus 350 |
| 25,23 | umpitanko | 0,87 | 47,56 |
| 30,89 | 6,54 | 0,44 | 32,08 |
| 41,23 | 4,31 | 0,20 | 21,57 |
| 54,63 | 3,09 | 0,10 | 15,50 |
| 70,49 | 2,34 | 0,06 | 11,73 |
| 88,48 | 1,84 | 0,04 | 9,23 |
| Ø | Hiilikuituepoksi | | lujuus 700 |
| 29,14 | 14,57 | 0,17 | 30,89 |
| 34,79 | 7,89 | 0,09 | 21,68 |
| 45,14 | 5,33 | 0,05 | 14,99 |
| 58,53 | 3,88 | 0,02 | 10,96 |
| 74,39 | 2,97 | 0,014 | 8,40 |
| 92,38 | 2,36 | 0,009 | 6,66 |

Yllättäen lähes kaikkien metallisten materiaalien tuloksena on kutakuinkin saman

paino-jäykkyys-jakauman tuottava rakenne. Vain putkien mitat hiukan vaihtelevat. Lasikuituepoksikomposiitti sopii metallien kanssa samaan kerhoon, mutta hiilikuitu on omaa luokkaansa.

Taulukossa esiintyvät lujuusarvot ovat summittainen arvio polkupyörän käyttötavalla kyseisen materiaalin käytettävissä olevasta lujuudesta. Vaihtelevaa edestakaisin nytkyttävää kuormitusta sanotaan väsyttäväksi kuormitukseksi ja rakenteet kestävät sitä paljon vähemmän, kuin tasaista yhdensuuntaista kuormaa. Väsymislujuutena käytetään tällä kertaa 35% murtolujuudesta. Eri materiaalit käyttäytyvät väsyttävässä kuormituksessa eri tavalla, joten mikään tarkka arvo tämä ei ole, mutta ihan kätevä nyrkkisääntö.

Alussa esitettyyn kysymykseen voidaan tarkastelun jälkeen vastata, että putket ovat vuosi vuodelta paksumpia, koska näin saadaan samasta materiaalista jäykempi ja lujempi pyörä, tai vastaavasti yhtä jäykkä ja luja vähemmällä materiaalilla. Se, miksi pyörät eivät alkujaan olleet paksuputkia johtui putken aihion reunojen ja putkien toisiinsa liittämisen tekniikan kehittymättömyydestä. Sitä mukaa, kun materiaali- ja valmistustekniikka kehittyi, ohenivat putken seinämät ja viime vuosina paksunivat myös ulkomitat lisäjäykkyyden tavoittelun myötä.

Valmistustekniikan yhä kehittyessä on odotettavissa, että pyörien materiaalit yhä useammin ovat muuta materiaalia kuin terästä. Seinämänvahuudet ohenevat vielä, joten jäykkyys lisääntyy ja paino vähenee. Rajat eivät vielä pitkään aikaan ole vastassa. Oluttölkkin kylki on vain 0,12 mm paksua ja sen halkaisija on 62 mm. Tällainen putki painaa 65 g metriltä ja vastaa jäykkyydeltään ja lujuudeltaan perinteisen teräksisen pyörän runkoputkia, jotka painavat yli kilon metriltä. En tarkoita, että tähän asti täytyisi mennä, mutta varaa on vielä keventää.

Putkien muovaaminen nestepaineella monimutkaisiin muotoihin lisääntyy ja lähentää putki- ja kotelarakenteita toisiinsa, joten voi olla, että kymmenen-, tai ehkä kahdenkymmenen vuoden päästä myytävässä pyörässä voi perinteinen kolmiorunko olla jo vintagea.