

STARLINK-SATELLIITIT

A large radio telescope dish is silhouetted against a dark night sky. The Milky Way galaxy is visible as a bright, cloudy band of stars stretching across the sky. The dish is mounted on a tall, dark structure. In the foreground, there is a dark, silhouetted landscape with a fence line. In the distance, other smaller telescope dishes are visible on the horizon.

Leo Wikholm

Avaruustekniikka-ryhmä

Tähtitieteellinen Yhdistys Ursa ry.

STARLINK-SATELLIITIT

- Amerikkalaisen SpaceX-yhtiön(* internet-satelliittihanke
- Tavoitteena tarjota internet-yhteyksiä kaikkialle maapallolle matalilla radoilla kiertävien satelliittien avulla
- Järjestelmän tavoitteena noin **12 000 kpl** verraten matalilla radoilla kiertävää satelliittia
- Ensimmäiset laukaisut aloitettiin varsinaisesti vuonna 2019.



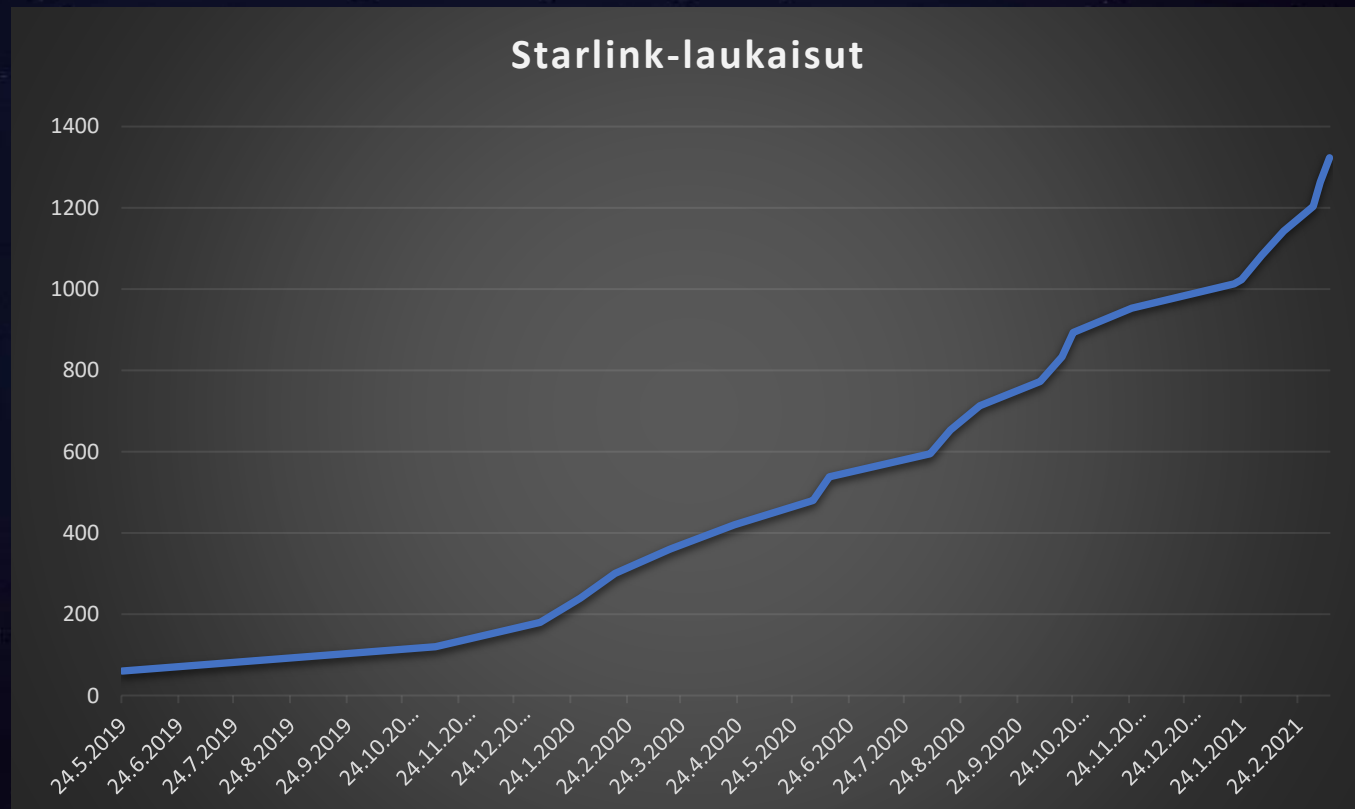
STARLINK – Kiivas laukaisutahti

- Laukaisutahdista on suunniteltu tiheää, jotta Maata kiertävälle radalle saataisiin vuosittain jopa **1000** uutta Starlink-satelliittia
- Satelliittien laukaisut tehdään SpaceX-yhtiön omalla **Falcon 9** –kantoraketilla
- Laukaisut Yhdysvalloista, Cape Canaveralin tai Kennedyn avaruuskeskuksista Floridasta
- Yhdessä laukaisussa tyypillisesti 60 satelliittia
- Maaliskuussa 14.3.2021 jo **1325** satelliittia
- Tehtaalta 120 satelliittia kuukaudessa.



Falcon 9 –kantoraketin Starlink-lasti (Kuva: SpaceX)

STARLINK-SATELLIITIT



STARLINK-SATELLIITIT: Laukaisut

Ryhmä	Laukaisu	Määrä
	22.2.2018	2
L0	24.5.2019	60
L1	11.11.2019	60
L2	7.1.2020	60
L3	29.1.2020	60
L4	17.2.2020	60
L5	18.3.2020	60
L6	22.4.2020	60
L7	4.6.2020	60
L8	13.6.2020	58
L9	7.8.2020	57
L10	18.8.2020	58
L11	3.9.2020	60

Ryhmä	Laukaisu	Määrä
L12	6.10.2020	60
L13	18.10.2020	60
L14	24.10.2020	60
L15	25.11.2020	60
L16	20.1.2021	60
Tr-1	24.1.2021	10
L18	4.2.2021	60
L19	16.2.2021	60
L17	4.3.2021	60
L20	11.3.2021	60
L21	14.3.2021	60
L22	21.3.2021	60

Onko STARLINK tulevaisuuden nettiyhteys?

- Maapallon laajuinen internet-verkosto, maailman jokaiseen kolkkaan, ihan kaikkialle!
- Tavoitenopeus tulevaisuudessa 10 Gbps ja latenssi(* 20-40 ms
- Aluksi tarjolla nopeus 50 – 150 Mbps
- Testivaiheessa nopeus parhaimmillaan 175 Mbps, ja latenssi 34 ms
- Kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin kuitukaapeliyhteydet. Mutta entä 5G tai tulevaisuuden 6G?
- Kilpailuvaltti syrjäseuduille, koska infrastruktuuria ei tarvitse rakentaa.

STARLINK-tietoliikenteestä...

- Signaali voidaan vastaanottaa kotiin tai vaihtoehtoisesti tukiasemaan, joka jakaa sen useampiin talouksiin
- Jokainen satelliitti keskustelee neljän muun satelliitin kanssa laseryhteydellä, jolloin kattavuus on laaja
- Starlinkin tavoitteena 5 miljoonaa asiakasta
- Tavoitteena **jopa 42 000** satelliittia!
- Falcon 9 –laukaisuihin perustuva Starlink on taloudellisempi toteuttaa, rakettien uudelleen käytöllä vähennetään avaruusromun määrää.

STARLINK-tietoliikenteestä...



STARLINK-signaalin vastaanotto

- Kustannus 99 USD kuukaudessa ja lisäksi laitteistopaketti 499 USD
- Maailmanlaajuiseen järjestelmään tarvitaan vähintään (1440) 4425 satelliittia, jotta maailmanlaajuinen palvelu voidaan varsinaisesti aloittaa
- Aluksi Pohjois-Amerikassa (testit) ja osassa Eurooppaa (mm. Englanti) → laajenee Saksaan ja Uuteen Seelantiin 2021.



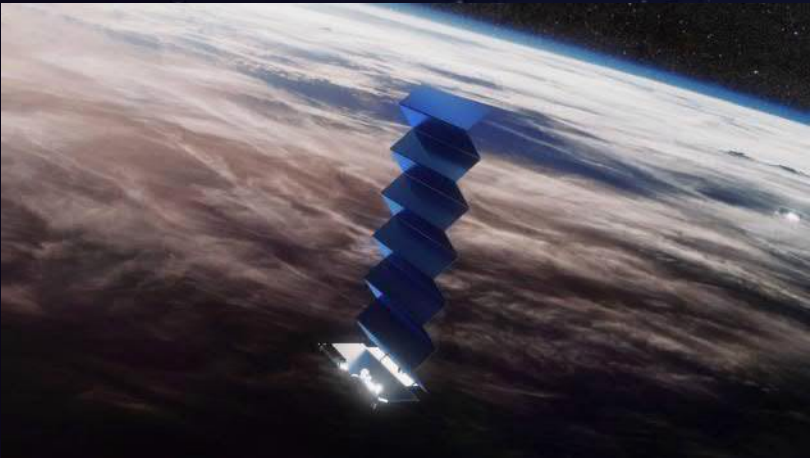
Kuva: SpaceX

STARLINK-SATELLIITIT

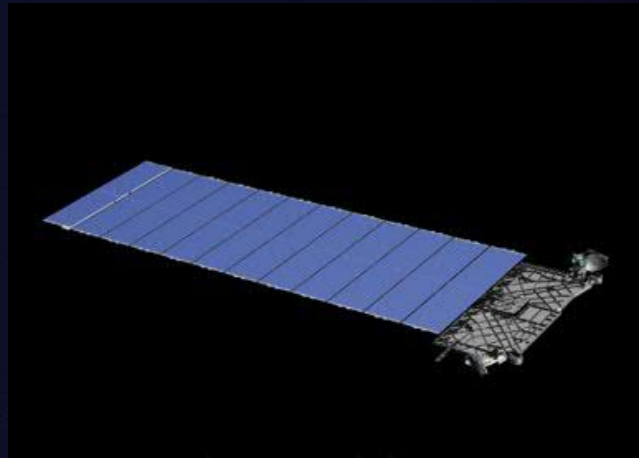
- Satelliitin kookkain rakenne on aurinkopaneelit, joissa yhden segmentin koko on **3,2 x 0,8 metriä**. Rakennelmassa on 12 segmenttiä ja niiden yhteispinta-ala on noin 30 neliömetriä.
- Yhden satelliitin massa on **260 kg**
- Laukaisun jälkeen ratakorkeus on noin 340 km, josta satelliitti siirtyy lopulliselle radalleen noin **550 km** korkeuteen.
- Radan kaltevuus Päiväntasaajaan nähden on valtaosalla satelliiteista noin **53 astetta**.



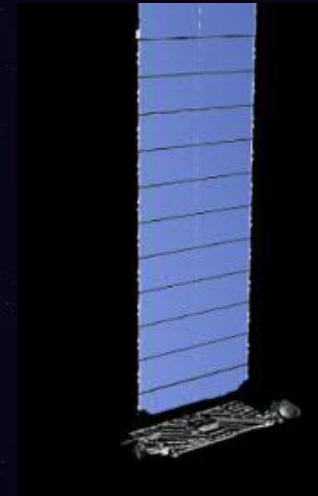
STARLINK-SATELLIITIT: Kiertoradalla



Laukaisun jälkeen aurinkopaneeli avautuu haitarimaisesti.



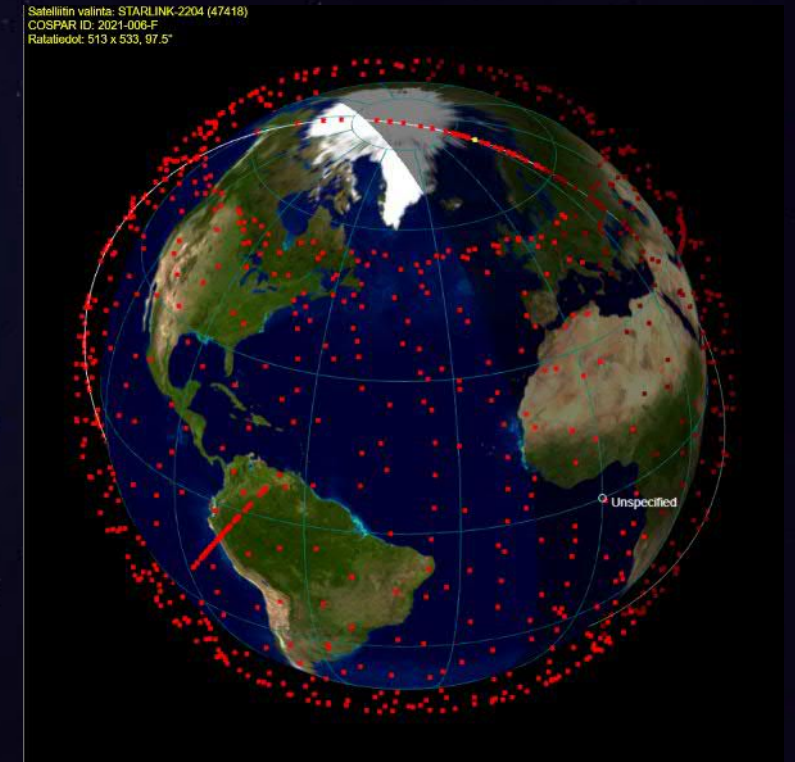
Laukaisun jälkeen noin 330 km korkeuteen parkkiradalle, jossa aurinkopaneelit ovat vaaka-asennossa.



Lopullinen rata 550 km, aurinkopaneelit ylä-asentoon.

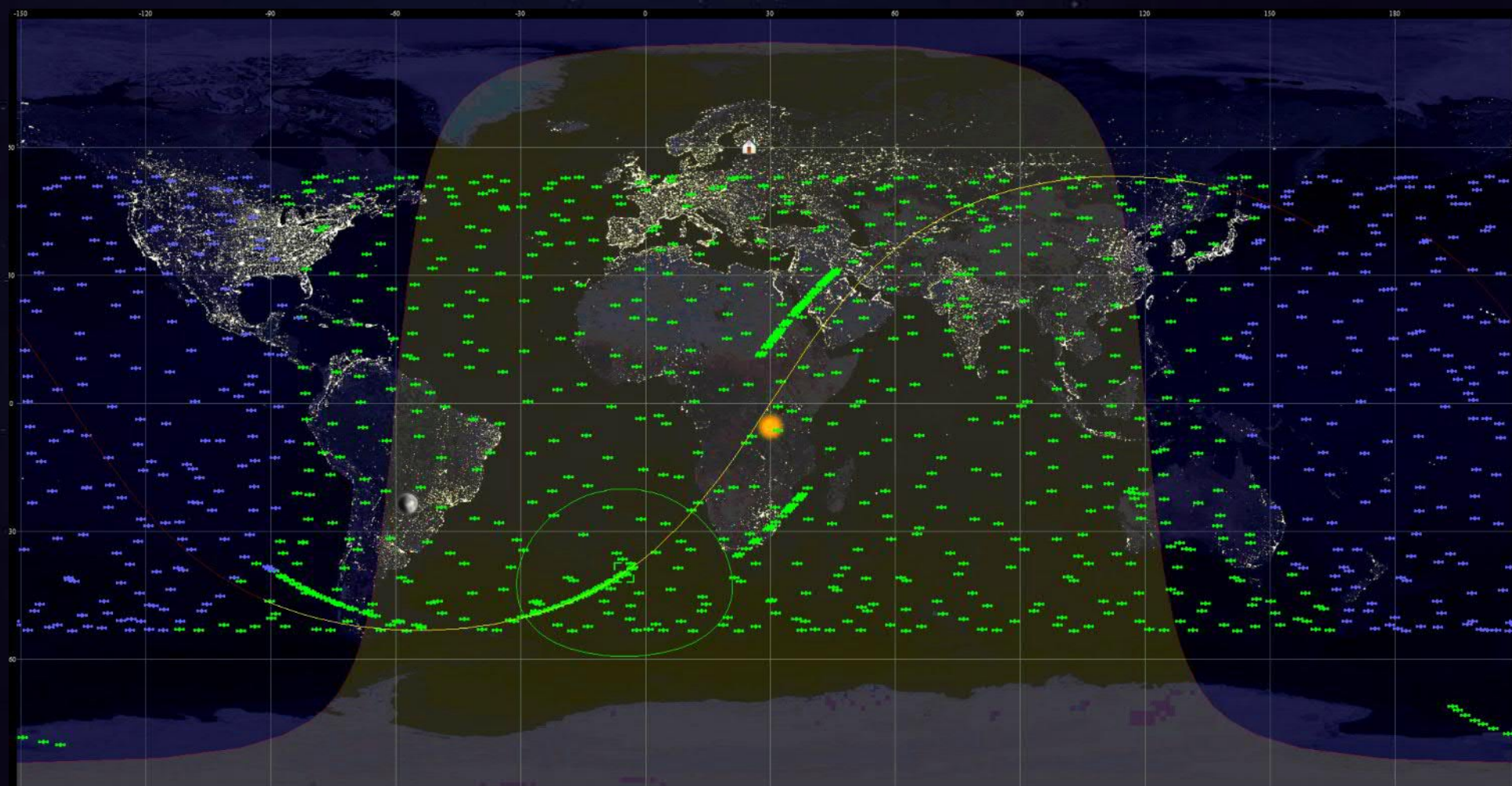
STARLINK-SATELLIITIT: Kiertoradalla

- Valtaosa ratatasojen inkliinaatioista on 53 astetta, jonka ansiosta napa-alueet jäävät katvealueeseen
- Tammikuussa 2021 **Transporter-1** –megalaukaisun yhteydessä avaruuteen laukaistiin 143 satelliittia ja mukana oli ensimmäistä kertaa 10 Starlink-satelliittia polaariradalla!

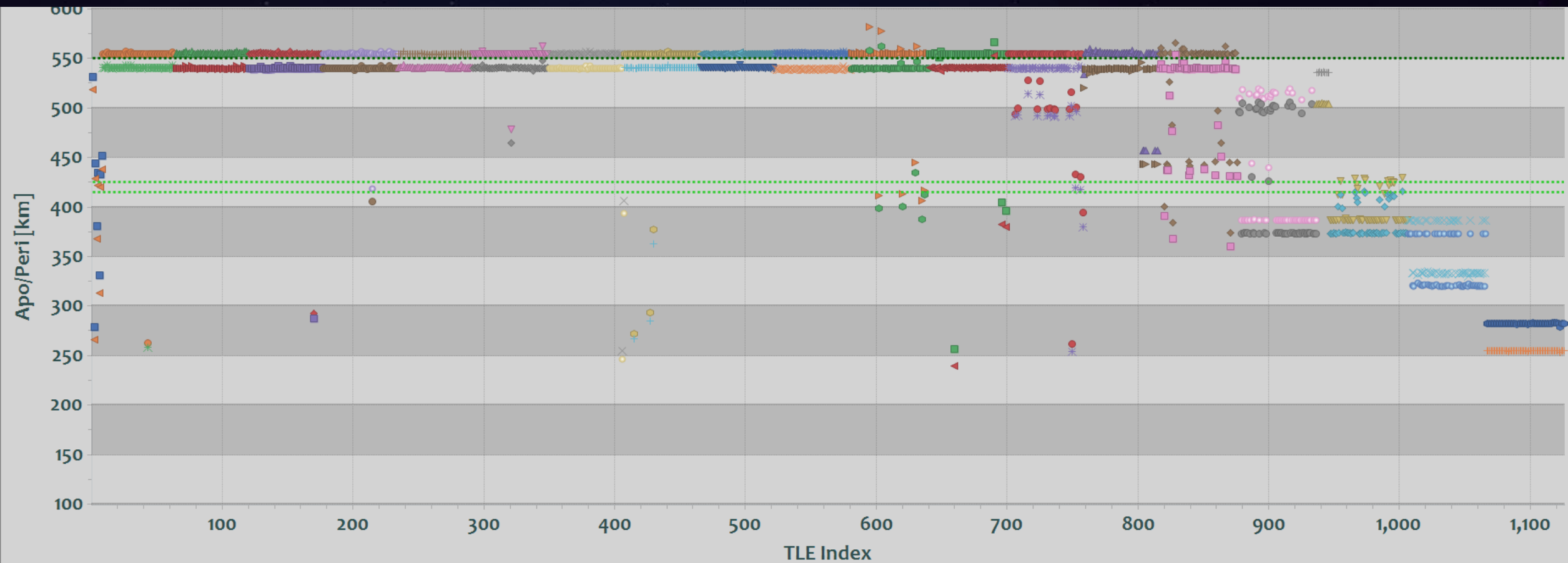


Kuva: Heavens-Above

STARLINK-SATELLIITIT: Kiertoradalla



STARLINK – Ratatasot maaliskuussa 2021

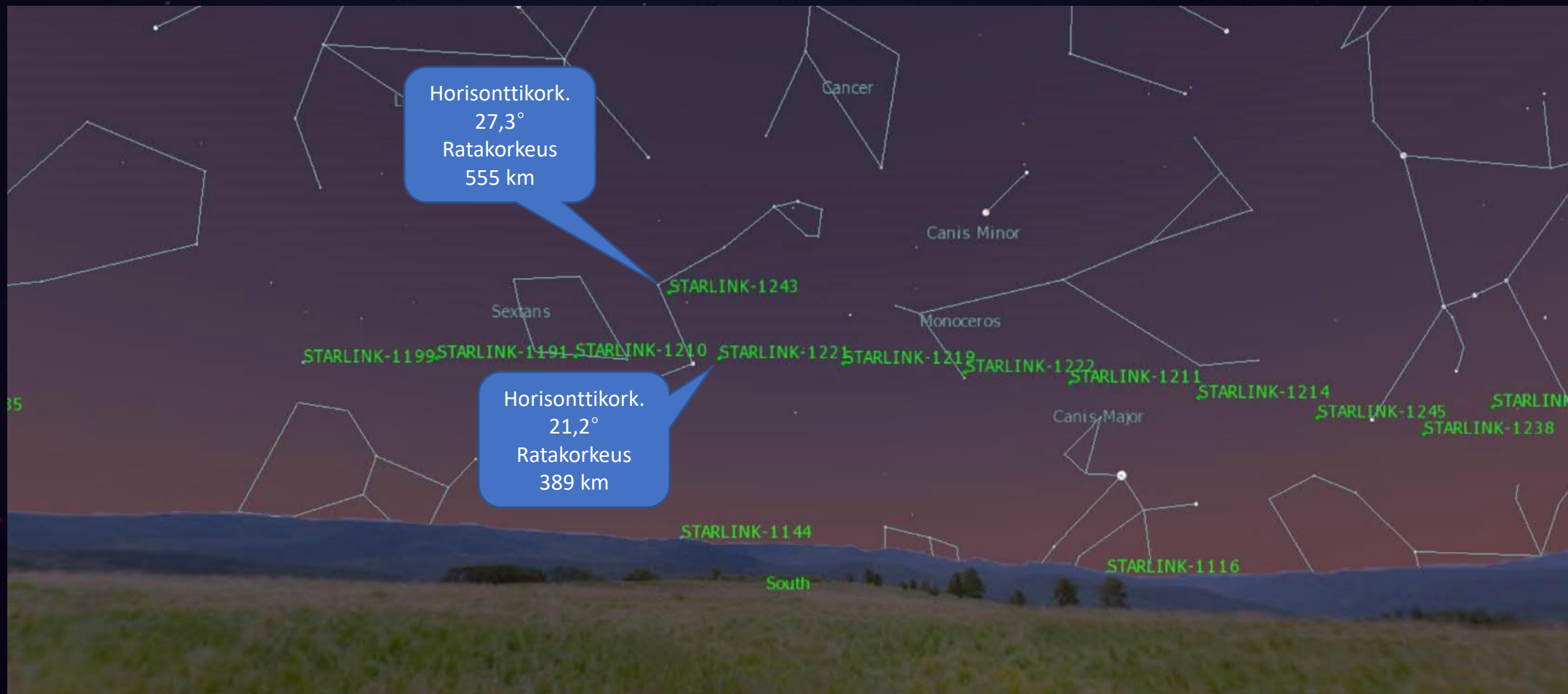


■ 2019-029 Apo	● 2019-074 Apo	▲ 2020-001 Apo	◆ 2020-006 Apo	○ 2020-012 Apo
+ 2020-019 Apo	▼ 2020-025 Apo	× 2020-035 Apo	● 2020-038 Apo	◀ 2020-055 Apo
* 2020-057 Apo	▶ 2020-062 Apo	■ 2020-070 Apo	● 2020-073 Apo	▲ 2020-074 Apo

STARLINK-SATELLIITIT: Näkyminen

- Laukaisun jälkeen satelliitit ovat radalla melko tiiviinä muodostelmana ja näkyvät siksi "helminauhana" taivaalla, kunnes erkanevat hiljalleen
- Näkyvät paljain silmin tähtitaivaalla keskimäärin noin 4 – 5 magnitudissa
- Horisonttikorkeus on tavallisesti hieman yli 20 astetta Suomessa
- Melkoinen häiriö tähtitaivaan kuvaajille, observatorioille
- Pohjoisilla leveysasteilla Starlinkit ovat kuitenkin horisontin tuntumassa toistaiseksi.

STARLINK-SATELLIITIT: Näkyminen

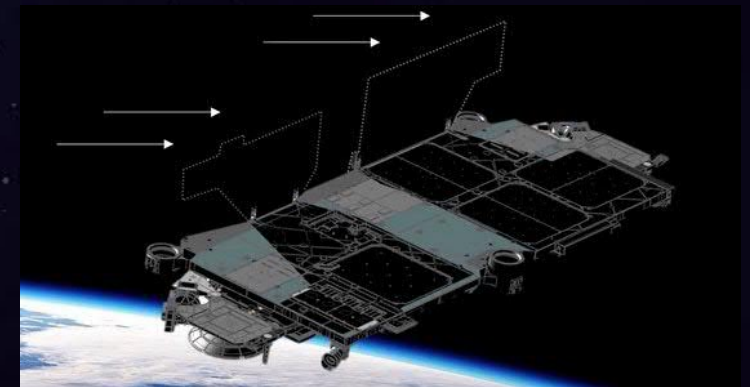
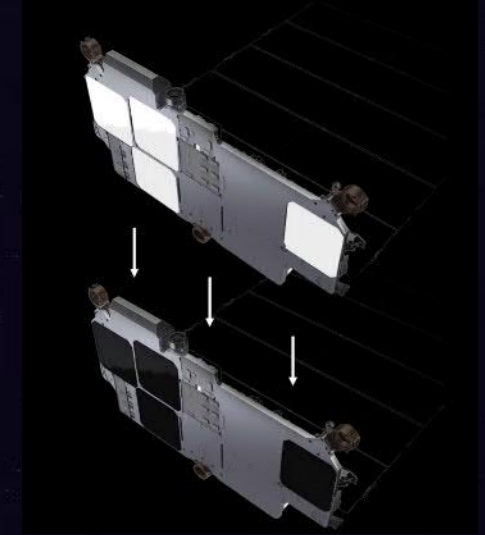


STARLINK-Näkyminen



STARLINK-SATELLIITIT: Näkyminen

- SpaceX on huomionnut satelliittien aiheuttaman merkittävän haitan tähtitieteen tutkimuksessa
- Pintamateriaalien tummentaminen (ns.DarkSat) → vähentää visuaalista kirkkautta, mutta nostaa pintalämpötilaa ja lisää infrapunasäteilyä
- Varjostinmenetelmä (ns.VisorSat), joka toimii satelliitin reunassa ja vähentää heijastumista
- Satelliittien asento: aurinkopaneelit vaakasuunnassa parkkiradalla, kiepautus pystyyn ja sivuttain tuotantoradalla.

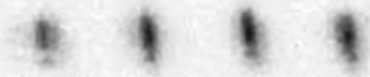


Kuvat: SpaceX

How Starlink Satellites in Parking Orbit Changed Appearance over the Year 2020

All Images Obtained Secondary Focus 10 inch Telescope R. Vandebergh

Starlink - 2AZ



March 24, 2020

Starlink - 1222



May 27, 2020

Starlink - 1463



September 17, 2020

Starlink - 1631
&
Starlink - 1616

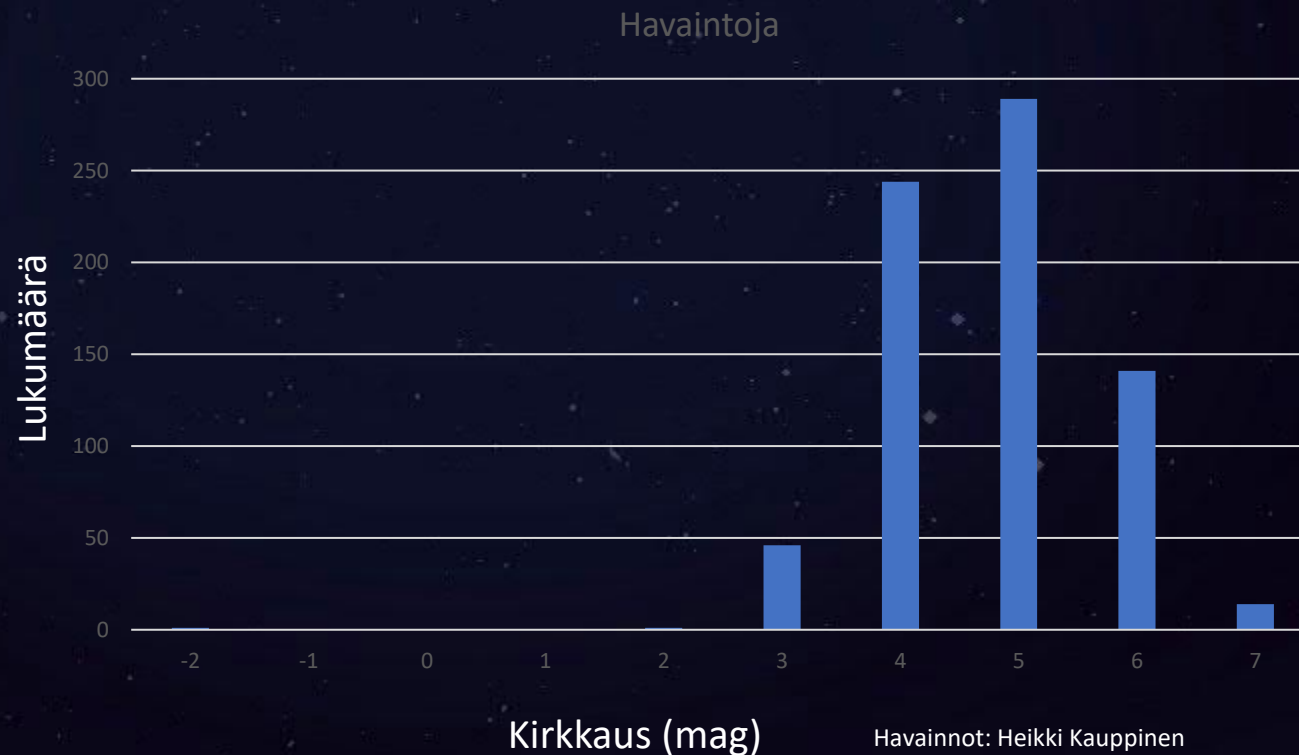


October 3, 2020

Notes: March: Solar Array Prominent, mostly brighter then Bus
May: Solar Array much fainter in changed Configuration
Sept: Solar Array very faint, at the Edge of Detection
Oct: Solar Array about invisible, below Detection

STARLINK-SATELLIITIT: Havaintoja

- Heikki Kauppinen havainnut jo 736 Starlink-satelliittia





Starlink-satelliitit pilvien takana
4.6.2020.

(Kuva: Jari Mäkinen, Biarritz)



Kuva: Jari Mäkinen, Bordeaux 5/2020



Kuva: Jari Mäkinen, Bordeaux 05/2020

20200509 00:00:00



Kuva: Jari Mäkinen, Hampuri

20200509 00:00:00



Kuva: Jari Mäkinen, Hampuri

STARLINK-SATELLIITIT: Lehtien otsikoissa

Kauppalehti: 28.2.2021

**Ranskalaiskylä torppasi Elon Muskin kaavailemat satelliittiantennit:
"Entä jos lehmät lypsävät vähemmän?"**

(Saint-Senier-de Beuvron, Ranska)

”Viestiaseman tontille oli tarkoitus pystyttää yhdeksän noin 3-metristä kupolin peittämää antennia ja Saint-Senierin on tarkoitus olla yksi neljästä Starlink-viestiasemasta Ranskassa.”

KILPAILEVAT JÄRJESTELMÄT

- OneWeb (rakenteilla)
 - 648 satelliittia
 - Ratakorkeudet 1200 km
 - Visuaalisesti hyvin himmeitä
- Amazon Kuiper (kehitteillä)
 - 3236 satelliittia
 - Ratakorkeudet 590 – 630 km
- Telesat Lightspeed (kehitteillä, 2023)
 - 298 satelliittia
 - Ratakorkeus 1000 km
 - Kanadalainen järjestelmä
 - Suunnattu julkisyhteisöille, laivoille ja lentoliikenteelle
- HongYun (Kiina)
 - 150 satelliittia
 - Ratakorkeus 1100 km
- Gonets 2 (Sovereign's Eye, Venäjä)



STARLINK - Tietokoneella

- Heavens-Above (<https://www.heavens-above.com>)
 - Laske haluamasi satelliitin sijainti ja näkymistiedot omassa horisontissasi
 - Ajankohtaiset tiedot Starlink-satelliiteista
- HeavenSat 2.5.2 (<http://www.sat.belastro.net/heavensat.ru/english/index.html>)
 - Monipuolinen satelliittien laskentaohjelma Windows-maailmaan
 - Tarvitsee ratatietoja (ladattavissa ohjelman sisällä)
 - Starlink-ratatiedot → <https://celestrak.com/NORAD/elements/starlink.txt>
- Stellarium (<http://stellarium.org/>)
 - Monipuolinen ja näyttävä tähtitaivaan planetaario
 - Hallitsee myös satelliitit (ei web-versiossa)
- Space Engine (<https://store.steampowered.com/>)
 - Maksullinen Steam-kaupassa (noin 20 €)
 - Lisävarusteena Steamin Workshopin kautta mm. Starlink-satelliitit.

YHTEENVETO



- Maata kiertävälle radalle odotettavissa lähivuosien aikana 12 000 tai jopa enemmän uusia verraten matalilla radoilla kiertäviä internet-satelliitteja
- Häiritsee tähtivalokuvausta
- Näkyy meillä yleensä 20-30 asteen korkeudella etelässä, mutta nyt myös zeniitissäkin
- Keskimääräinen kirkkaus noin 3-5 magnitudia
- Satelliittien helminauha nähtävissä joidenkin viikkojen ajan laukaisun jälkeen (tiheinä lähellä laukaisua)
- Internet-satelliittien ryntäys avaruuteen, lisäksi OneWeb ja Amazon.

KIITOS!

Erityiskiitokset materiaaliin liittyen:

Heikki Kauppinen, Espoo

Antti Kuosmanen

Jari Mäkinen, Bordeaux, Ranska