

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# JÄÄN PAKSUUDEN MITTAUSJÄRJESTELMÄN KEHITYSTYÖ

Mekaniikkakehitys

TEKIJÄ Aki Volanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Aki Volanen	
Työn nimi Jään paksuuden mittausjärjestelmän kehitystyö	
Päiväys 28.03.2023	Sivumäärä/Liitteet 38/14
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppanit Savonia-ammattikorkeakoulu/Mestar Kuopio Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Yhdyskuntarakentamisen ja kunnossapidon palveluja tarjoava Mestar Kuopio Oy vastaa luisteluradan valmistelusta ja kunnossapidosta Kallaveden luonnonjäälle Kuopiossa Finland Ice Marathon tapahtumaa varten. Luisteluradan valmistelu ja kunnossapito ei ole enää kuitenkaan niin helppoa, koska talviolosuhteet ovat heikentyneet ja luonnonjää ei jäädy yhtä hyvin kuin ennen. Tämän vuoksi jään paksuuden mittaamisessa on merkittävänä riskinä työntekijöiden putoaminen avantoon, koska jää murtuu ja petteä alta. Useita tällaisia tapaturmia on jo tapahtunut. Luonnonjää ei jäädy tasaisesti kaikkialta, joten mittausympäristö on vaarallinen ja arvaamaton. Periteisen kairaamisen lisäksi Mestar Kuopio Oy on hankkinut impulssitutkan, jonka tuottamasta mittausdatasta voidaan reaaliajassa tabletilla tutkia jään paksuutta. Jään paksuuden mittaamisen, tehokkuuden ja käytettävyyden parantamiseksi impulssitutkalle on tarve kehittää kuljetinratkaisu luonnonjään olosuhteisiin. Työturvallisuuden varmistamiseksi tutkaa on pystyttävä liikuttamaan turvallisen etäisyyden päästä, jotta mahdollisesti edessä oleva heikko jää on ajoissa havainnoitavissa.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin ja valmistettiin jään paksuuden mittausta varten teleskooppivarsilla työnnettävän kuljetusalustan prototyyppi impulssitutkalle, jota testattiin Kallaveden luonnonjäällä sen tulevassa käyttöympäristössä. Lisäksi toisena aiheena tutkittiin dronen hyödyntämisen mahdollisuuksia impulssitutkan kuljettamisessa jään paksuuden mittauksissa ja sitä varten suunniteltiin sekä valmistettiin myös prototyyppi. Molemmista prototyypeistä tehtiin 3D-mallit sekä osien valmistus- ja kokoonpanopiirustukset Solidworks 3D CAD-ohjelmalla. Prototyyppien valmistaminen tapahtui Savonia-ammattikorkeakoulun konetekniikan laboratoriossa Microkadun kampuksella.</p> <p>Testauksien perusteella teleskooppivarsilla työnnettävän kuljetusalustan prototyyppi soveltuu jään paksuuden mittauksissa impulssitutkan kuljettamiseen. Kuljetusalustaa on kevyt työntää ja helppo ohjata jää- ja lumipinoilla. Lisäksi mittausdata on hyvin tulkittavissa tutkan ollessa kuljetusalustassa, ja siitä saadaan luotettavia mittaus tuloksia tutkittaessa jään paksuutta. Koelentoa dronella ei päästy tekemään, koska tutka oli liian suuri dronelle kuljetettavaksi. Kuitenkin tuotekehityksellä tutkasta voitaisiin saada soveltuvampi dronella kuljettamisesta varten ja sitten jään paksuuden mittaus dronea hyödyntämällä olisi hyvin mahdollista.</p>	
Avainsanat Luonnonjää, Impulssitutka, Mittausdata, Kuljetusalusta, Drone	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering	
Author Aki Volanen	
Title of Thesis Development of an Ice Thickness Measurement System	
Date March 28, 2023	Pages/Appendices 38/14
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences/Mestar Kuopio Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>Community building and maintenance services offering Mestar Kuopio Oy is responsible for the preparation and maintenance of the ice-skating route at Kallavesi in Kuopio. A major event called Finland Ice Marathon is held on this skating route. However, its preparation and maintenance are not as easy anymore as before since the winter circumstances have changed so much over the years. The natural ice does not freeze as well and evenly as it did in the past. Therefore, the ice may not be strong enough to carry the weight of people or vehicles. There is a high risk of employees falling into the freezing water. Several accidents like this have already occurred. In addition to usual drilling, Mestar Kuopio Oy has purchased a GPR-radar (Ground Penetrating Radar) which can be used to measure the thickness of the ice. To make the measuring of the ice thickness safe and efficient, Mestar Kuopio Oy needs a platform for moving the GPR-radar from to one place to another on natural ice. The platform must be movable from a safe distance, so that the GPR-radar can alert the employees in time in case the ice ahead is too thin. The real-time measurement data from the GPR-radar can be read and interpreted on a tablet.</p> <p>The main aim of this thesis was to design, manufacture and test a prototype of the controllable platform that can be used to transport the GPR-radar on natural ice by pushing it with telescopic arms. The prototype was tested on the natural ice of Kallavesi. In addition, another aim was to research the possibility of using a drone as transportation vehicle for the GPR-radar. The 3D models and technical drawings were made of both prototypes with Solidworks 3D CAD-program. For testing, the prototypes were manufactured in the laboratory of mechanical engineering department.</p> <p>Based on testing, the controllable prototype with telescopic arms worked successfully, and it will be a great benefit when measuring the ice thickness. It can be moved very easily in the snow and on ice surfaces. Also, the measurement data is very well interpretable and can be used to get reliable results of ice thicknesses of natural ice. The prototype for the drone was designed and manufactured, however, a test flight could not be performed because of the large size and weight of the GPR-radar. Nevertheless, with a little bit of product development, the GPR-radar could be made more suitable for a drone to lift and carry it. This would make the utilization of the drone for the GPR-radar transportation possible.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>Natural ice, GPR-radar, Measurement data, Prototype, Drone</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	TEORIA .....	6
2.1	Rajapintojen muodostuminen jäähän .....	6
2.2	Jään paksuuden mittausmenetelmät .....	7
2.3	Impulssitutka.....	7
2.3.1	Haasteet mittauksissa .....	9
2.3.2	Erlaisia impulssitutkia .....	10
2.3.3	Impulssitutkien kuljetusvaihtoehtoja .....	11
2.4	Radiolaitteiden lupakäytäntöjä .....	12
2.5	Jään kantavuus.....	12
2.6	Jään ominaisuudet eri vuodenaikoina .....	14
3	AINEISTO JA MENETELMÄT.....	14
3.1	ImpulseRadar PLT600 .....	14
3.2	Työnnettävä kuljetusalusta .....	14
3.3	Matrice 300 RTK drone tutkan kuljetuksessa.....	15
4	TULOKSET .....	15
4.1	Työnnettävä kuljetusalusta .....	15
4.2	Matrice 300 RTK dronen teline ja impulssitutkan telakka .....	17
5	TULOKSIEN TARKASTELU .....	18
5.1	Työnnettävä kuljetusalusta luonnonjäällä .....	18
5.2	Valmistettu Matrice 300 RTK dronen teline ja impulssitutkan telakka .....	21
6	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	22
	LÄHTEET .....	23
	LIITE 1: ICE MARATHONIN REITTI KALLAVEDELLÄ.....	24
	LIITE 2: IMPULSSITUTKAN TEKNISET TIEDOT.....	25
	LIITE 3: TYÖNNETTÄVÄN KULJETUSALUSTAN PIIRUSTUKSET .....	26
	LIITE 4: IMPULSSITUTKAN TELINEEN JA TELAKAN PIIRUSTUKSET .....	35

## 1 JOHDANTO

Kuopion kaupungin ja sen konserniyhtiöiden omistama Mestar Kuopio Oy vastaa vuosittain Kallaveden luonnonjäälle järjestettävän Finland Ice Marathon tapahtuman luisteluradan valmistelusta sekä kunnossapidosta. Vuosikymmenten aikana kertyneestä tietotaidosta huolimatta luisteluradan valmistelu ja kunnossapito on viime vuosina vaikeutunut merkittävästi heikentyneiden talviolosuhteiden vuoksi, mikä vaikuttaa luonnonvesien jäätymiseen. Tähän asti jään paksuutta on mitattu periteiseen tapaan kairaamalla mittausreikiä, mutta mittauksen turvallisuuden ja tehokkuuden kannalta se ei ole enää kaikkein paras keino. Jäätyminen ei tapahdu tasaisesti kaikkialta, joten mittausympäristönä luonnonjää on hyvin arvaamaton, haastava ja vaarallinen.

Jään paksuuden mittaus aloitetaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Paksuuden on oltava vähintään 5 cm, jotta jää kantaisi ihmisen painon. Koska luonnonvedet jäätyvät epätasaisesti, ei kaikkialta jää ole vielä tarpeeksi paksua kantamaan ihmisen tai ajoneuvojen painoa. Siksi merkittävänä vaaratilanteena jään paksuuden mittaamiseen liittyy riski jään rikkoutumiseen mittaajan alta. Mahdollisten henkilövahinkojen lisäksi riskinä on myös arvokkaat kaluston menetykset.

Mestar Kuopio Oy aloitti yhteistyön Savonia-ammattikorkeakoulun kanssa näiden ongelmien ratkaisemiseksi. Ensivaiheessa tehtiin esiselvitys, jossa etsittiin soveltuvia mittausmenetelmiä jään paksuuden määrittämiseksi. Jään paksuuden mittaukseen valikoitui selvityksen perusteella ruotsalaisen ImpulseRadar-yhtiön impulssitutka PLT600, joka soveltuu myös jään paksuuden mittaamiseen. Selvityksen jälkeen yhteistyötä jatkettiin kehitysprojektilla, jonka tarkoitus oli kehittää impulssitutkalle kuljetinratkaisu.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tuote- ja mekaniikkakehityksen suunnittelutyön tuloksena valmistaa ja testata toimivan kuljetinratkaisun prototyyppi impulssitutkalle. Kunnossapitomittauksia luisteluradalla voidaan tehdä kiinnittämällä salkussa oleva impulssitutka ajoneuvon vetokoukkuun, mutta tuntemattomille jäille ei kuitenkaan voi ajoneuvolla mennä. Heikkoja jäitä ja tarvittaessa uusien alueiden kartoitusta varten, mikäli luisteluradan reittiä tarvitsee myöhemmin muuttaa, on tutkalla pystyttävä mittaamaan jään paksuutta luonnonjäällä liikuttamalla sitä jonkinlaisella kuljetusalustalla turvallisen etäisyyden päästä. Tällöin tutka ehtii varoittamaan mittaajia, jos jään paksuus muuttuu vaarallisen ohueksi. Lisäksi opinnäytetyössä tutkitaan dronen hyödyntämisen mahdollisuuksia tutkan kuljettamisessa jään paksuuden mittaamisessa.

## 2 TEORIA

### 2.1 Rajapintojen muodostuminen jäähän

Ilman ja veden kylmetessä tarpeeksi alkaa muodostumaan jäätä. Seuraavaksi jään alapuolelle muodostuu vahvaa teräsjäätä, joka lisää kantavuutta. Lumen sataminen jäälle hidastaa kuitenkin alapuolella olevan teräsjään muodostumista, koska päälle satanut lumi toimii eristeenä. [1, s. 3.] Jää paksuntuu parhaiten sen pinnan ollessa paljaana [9]. Kun lunta on satanut oikein paljon, saattaa jää romahtaa sen painosta ja jään yläpinnalle pääsee virtaamaan vettä. Seurauksena syntyy kohvaa, joka on teräsjäätä heikompaa. Jään kantavuuteen vaikuttaa merkittävästi se, jos ainoastaan jään pinnalle päässyt vesi jäätyy, mutta jääkerroksien väliin jää vettä, mikä ei jäädy. [1, s. 3.] Näin jäälle muodostuu erilaisia rajapintoja.

Dielektrisyysvakio (suhteellinen permittiivisyys  $\epsilon$ ) on ominaisuus, joka kuvaa radioaallon kulkemista väliaineessa. Ilmassa radioaalto kulkee nopeammin kuin väliaineessa. Taitekerroin, eli dielektrisyysvakion neliöjuuri (suhteellinen arvo  $\epsilon_r$ ) on tässä tapauksessa hyvin käyttökelpoinen suure. Pienillä taajuuksilla 0 °C lämpötilassa taitekerroin on vedellä  $\sqrt{88}$ . Teräsjäällä taitekerroin on  $\sqrt{3,2}$ . Jäälle satavan lumikerroksen kasvaessa jään pinnalla oleva kevyt lumi saattaa syvemmillä tiivistyä kohvajääksi. Selkeitä taitekertoimen lukuja ei ole lumella ja kohvajäällä, mutta kuivalle lumelle on suhteellisen tarkka kaava kuitenkin löydetty, kun muuttujana on tiheys  $\rho$  (Kaava 1). Kohvajäälle voidaan käyttää samaa kaavaa. [1, s. 3.]

(1)

$$\sqrt{\epsilon_r} = 1 + 0,845\rho$$

Aallonpituus väliaineessa voidaan laskea dielektrisyysvakiosta  $\epsilon_r$ , valon nopeudesta tyhjiössä  $c$ , ja taajuudesta  $f$  [1, s. 3].

(2)

$$\lambda = \frac{c/\sqrt{\epsilon_r}}{f}$$

Taajuuden suuruus vaikuttaa merkittävästi radioaallon tunkeutumissyvyyteen vedessä ja jäässä. Mitä suurempi taajuus, sitä suurempi este vesi on radioaallolle (Taulukko 1) [1, s. 3].

Taulukko 1. Tunkeuma vedessä ja neljännesaallon pituus jäässä taajuuden funktiona [1, s. 3]

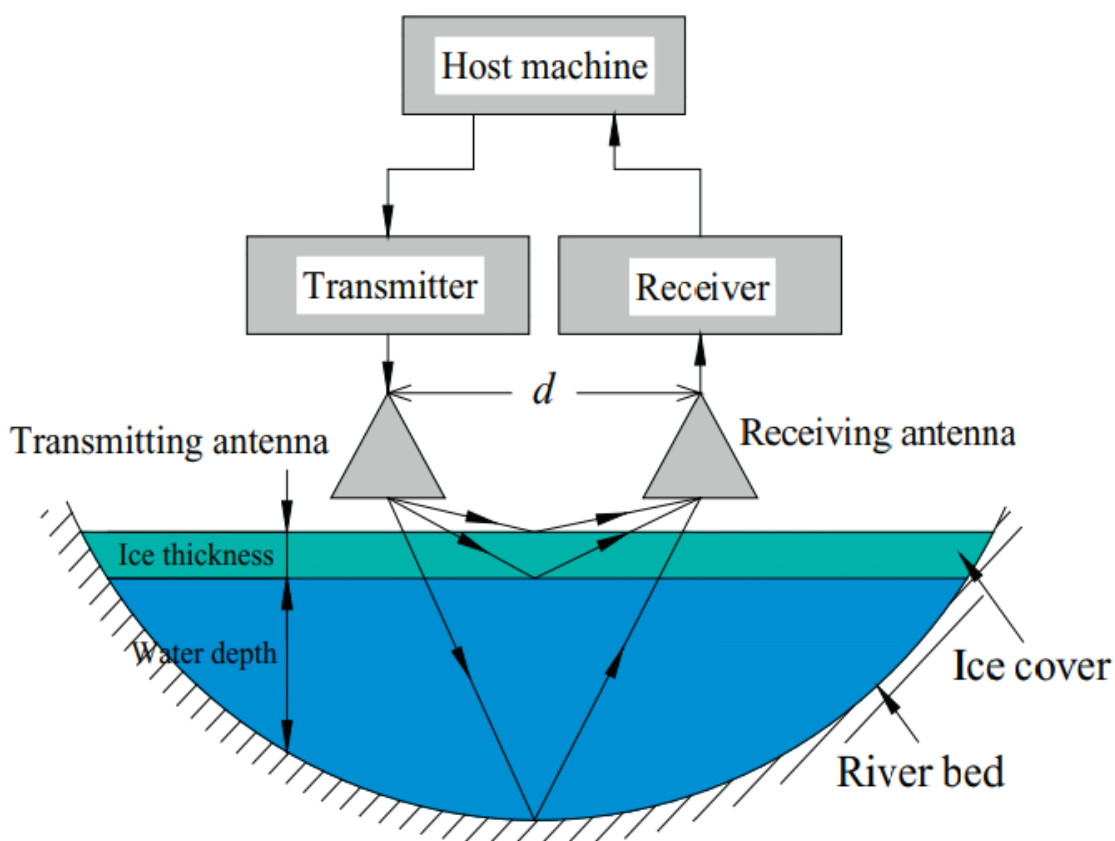
taajuus [MHz]	tunkeutumissyvyys vedessä [mm]	neljännesaallon pituus jäässä [mm]
100	476	419
200	415	210
500	220	84
1000	82	42
1500	41	28
3000	11	14

## 2.2 Jään paksuuden mittausmenetelmät

Menetelmät jään paksuuden mittauksessa jaetaan kahteen ryhmään, kosketus- ja koskemattomiin mittauksiin. Kosketusmittauksiin kuuluvat perinteinen kairaus, poraus, vastuslämmityslinjan sekä paineanturien käyttö. Nämä mittausmenetelmät ovat olleet pitkään käytössä, koska niitä on pidetty luotettavimpina. Koskemattomiin menetelmiin kuuluvat kaikuluotaimet sekä maa-, satelliitti- ja ilmatutkat. Jään paksuuden mittaus tapahtuu lähettämällä ultraäänisignaaleja jäähän ja vastaanottamalla takaisin heijastuvia signaaleja. Ultraäänipulssisignaaleilla voidaan lisäksi mitata myös jään paksuuden lisäksi veden syvyyttä ja jääpitoisuutta. [2, s. 85.]

## 2.3 Impulssitutka

Impulssitutka on kehitetty maaperämittauksiin (esim. maakerrokset ja putkistot), mutta erikoistapauksena soveltuu myös jään paksuuden mittaamiseen. Tutka kuuluu jään koskemattomiin mittausmenetelmiin. Toimintaperiaate jään paksuuden mittauksessa on lähettää sähkömagneettisia radioaalloja lyhyinä suuritaajuisina pulsseina jäähän lähetyksantennista ja sitten vastaanottaa takaisin erilaisista rajapinnoista heijastuvat aallot vastaanottoantennilla (Kuva 1). Jäähän lähetetyt sähkömagneettiset aallot osuvat erilaisia sähköisiä ominaisuuksia omaaviin väliaineisiin (esim. vesi ja teräsjää), mitkä saavat aallot heijastumaan takaisin tutkaan. [2, s. 85.]



KUVA 1. Jään paksuuden mittaus GPR-tutkalla [2, s. 86]

Impulssitutkan lähettämät lyhyet korkeataajuiset pulssit kulkevat erilaisilla nopeuksilla eri väliaineissa. Mikäli läpäistäviä väliaineita on useita, voidaan esittää yhteys etäisyyden  $s$  ja kulkuajan  $t$  välille taitekertoimen  $\varepsilon_r$  ja valon nopeuden  $c$  riippuvuuden avulla. [1, s. 4.]

(3)

$$2s = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r}} t$$

Tutkan sisässä lähetyspulssi on suorakaiteen muotoinen ja tutkan ulkopuolelle päästyään pulssi muistuttaa karkeasti kuvaten siniaaltoa. Toimintataajuuden  $f_0$  ja pulssin leveyden  $\tau$  välillä on seuraavan yhteys. [1, s. 4.]

(4)

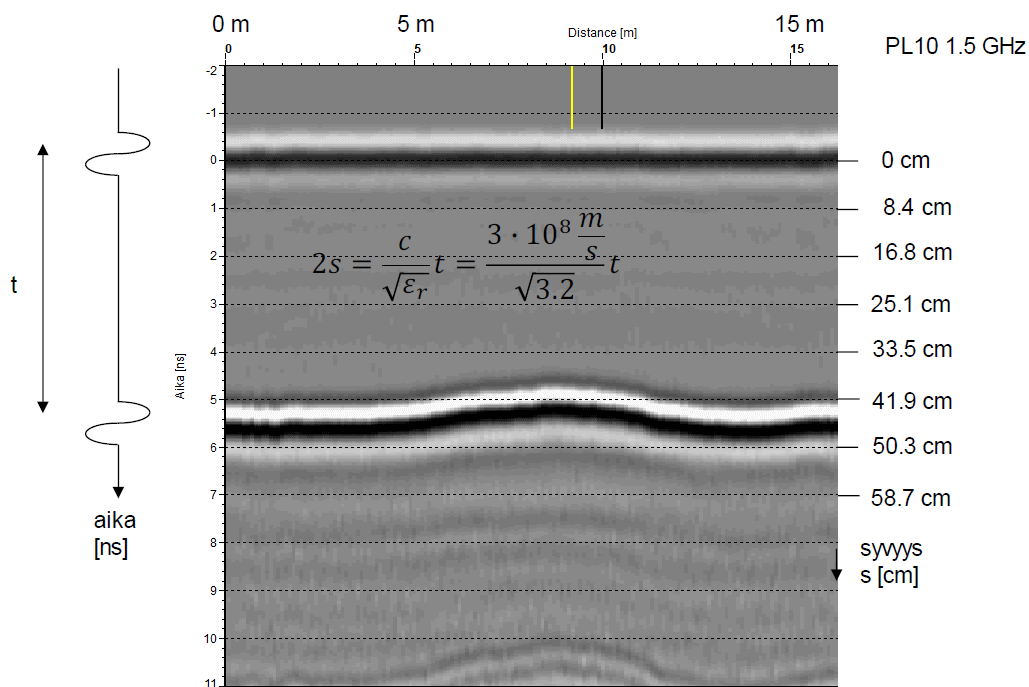
$$f_0 = \frac{1}{2\tau}$$

Resoluutio paljastuu neljännesaallon suuruiseksi, kun differentioidaan etäisyyden kaava 3 ja sijoitetaan siihen pulssin leveys [1, s. 4].

(5)

$$\Delta s = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \Delta t = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \tau = \frac{c}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \cdot \frac{1}{2f_0}$$

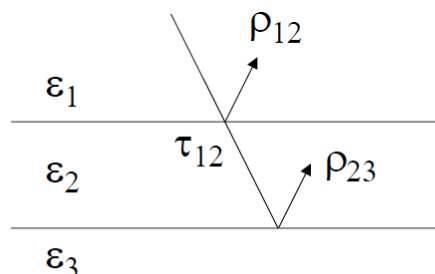
Pulssi pitenee kulkiessaan useiden rajapintojen läpi ja takaisin heijastunut vastaanotettu pulssi käsitellään niin, että valkoisena näytetään voimakas positiivinen signaali, mustana voimakas negatiivinen signaali ja harmaana heikko taso. Tulokset luetaan raitakuvasta, johon on asetettu useita näin saatuja juovia peräkkäin. [1, s. 4.] Alla olevassa kuvassa 2 jään paksuus on noin 50 cm. Mustat raidat ovat rajapintoja, joista signaali heijastuu takaisin tutkaan.



KUVA 2. Vasemmalla on mittaukseen käytetty aika, ylhäällä matka ja oikealla jään syvyys [1, s. 4]



Rajapintojen heijastus- ja läpäisykertoimet voidaan laskea dielektrisyysvakioista. Kertoimien mukaan jään ja veden rajapinnat heijastavat radioaaltoja voimakkaasti. Lumen ja jään rajapinta heijastaa myös voimakkaasti radioaaltoja, mutta ilman selkeästi erottuvaa kuorta lumen pintaheijastus on heikkoa. Lumen, teräsjään ja veden rajapinnat näkyvät alla olevassa kuvassa 3, jossa olevat kaavat pätevät ainoastaan kohtisuorassa tapauksessa. Radioaallon läpäisykerroin on  $\tau_{12}$ . Teräsjään heijastuskerroin on  $\rho_{12}$  ja veden  $\rho_{23}$ . [1, s. 5.]



$$\rho_{12} = \frac{\sqrt{\varepsilon_{r1}} - \sqrt{\varepsilon_{r2}}}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} + \sqrt{\varepsilon_{r2}}} = \frac{\sqrt{1} - \sqrt{3.2}}{\sqrt{1} + \sqrt{3.2}} = -0.28$$

$$\tau_{12} = \frac{2\sqrt{\varepsilon_{r1}}}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} + \sqrt{\varepsilon_{r2}}} = \frac{2\sqrt{\varepsilon_{r1}}}{\sqrt{\varepsilon_{r1}} + \sqrt{\varepsilon_{r2}}} = 0.72$$

$$\rho_{23} = \frac{\sqrt{\varepsilon_{r2}} - \sqrt{\varepsilon_{r3}}}{\sqrt{\varepsilon_{r2}} + \sqrt{\varepsilon_{r3}}} = \frac{\sqrt{3.2} - \sqrt{88}}{\sqrt{3.2} + \sqrt{88}} = -0.68$$

KUVA 3. Heijastus- ja läpäisykertoimien laskeminen rajapintojen taitekertoimien avulla [1, s. 5]

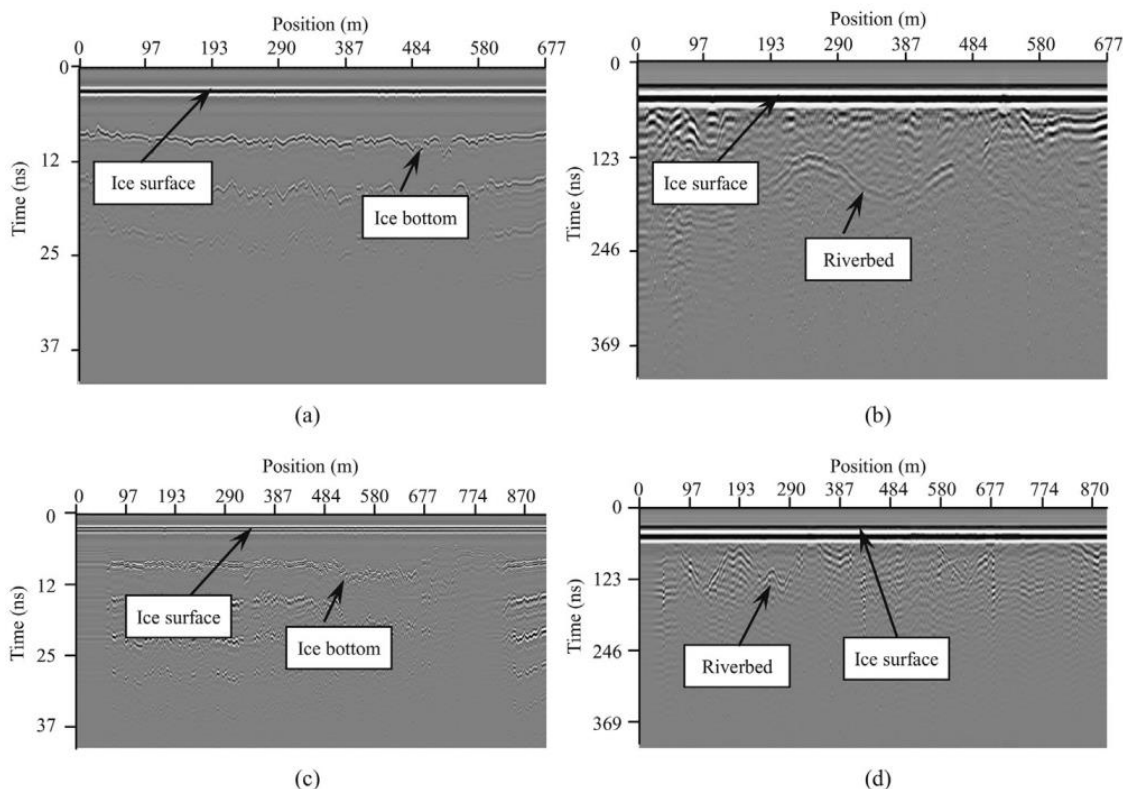
### 2.3.1 Haasteet mittauksissa

Dielektrisyysvakio on ilmalla yleensä 1, vedellä 80, jäällä 3-4 ja sedimenttikivellä 5-30. Suuret erot näiden väliaineiden permittiivisyyksissä mahdollistavat impulssitutkan lähettämien suuritaajuisten signaalien takaisin heijastumisen vastaanottavaan anturiin. Kuitenkin erilaisten materiaalien sekoittuminen toisiinsa muuttaa niiden fysikaalisia ominaisuuksia (esim. sähkönjohtokyky) ja siten heikentää mittausten tarkkuutta ja vakautta. Jään paksuuden mittauksissa vaikeuksia voi aiheuttaa esimerkiksi lumen, jään ja hiekan sekoittuminen toisiinsa (Kuva 4). [2, s. 91.]



KUVA 4. Eri materiaalien sekoittuminen toisiinsa on nähtävissä jäädä otetuista näytteistä [2, s. 91]

Tuloksia voi impulssitutkilla tehdyistä mittauksista olla myös vaikea tulkita ja sitä varten tarvitaan kokemuksen kautta karttunutta osaamista. Alla olevassa kuvassa 5 on esimerkkinä mittaustuloksia, jotka on saatu Keltaisesta joesta Kiinassa. Jään paksuutta on mitattu kahdella taajuudella, 100 MHz (tulokset b ja d) ja 1 500 MHz (tulokset a ja c). Jään pinnan lisäksi suuremmalla 1 500 MHz taajuudella on nähtävissä jään pohja ja pienemmällä 100 MHz taajuudella joen pohja. [2, s. 89.] Pienempää taajuutta käyttämällä vedestä ei ole niin paljon haittaa ja saadaan radioaallolle suurempi tunkeutumissyvyys, joten myös joen pohja saadaan näkyviin mittaustuloksissa.



KUVA 5. Tuloksista on eroteltavissa joen erilaiset rajapinnat (jää, vesi ja sedimentti) [2, s. 89]

### 2.3.2 Erilaisia impulssitutkia

Viime vuosina impulssitutkia, eli GPR-teknologiaa (Ground Penetrating Radar) on kehitetty todella paljon. Etuina ovat mittalaitteiden tehokkuus, alhaiset kustannukset ja kompaktit rakenteet. Mittauslaitteita voidaan liikutella pitkiä matkoja erilaisilla kuljetusvaihtoehdoilla ja siten kartoittaa sekä tutkia tehokkaasti suuria alueita. Tutkimustarkoituksissa impulssitutkia hyödynnetäänkin hyvin yleisesti. [2, s. 85.]

Impulssitutkia on kolmea erilaista tyyppiä. Yleisin on kaksiosainen tutka, jonka ensimmäinen osa, eli antenni kulkee tutkittavan kohteen pinnalla ja toinen osa vastaa hallinnan säädöistä ja näytöistä. Tutkan kuljetus tapahtuu yleensä kävellen, eli manuaalisesti. Toinen tyyppi on muuten samanlainen kuin edellä kuvailtu, mutta antennia kuljetetaan pinnan yläpuolella. Tämän tyyppin heikkoutena on rajapintojen määrän kasvu, koska antenni näkee myös sivuille ja sen vuoksi tuloksina saadaan pidempiä rajakuviota sekä ylimääräisiä heijastuksia. Kuljetusvaihtoehtona tällaiselle tutkalle voi olla esimerkiksi ajoneuvo. Kolmannessa tutkatyyppissä kaikki laitteen osat ovat yhdessä samassa kompaktissa kotelossa, johon on kiinnitetty kahvat. Tällaista tutkaa kutsutaan seinätutkaksi tai käsiskanneriksi. [1, s. 6.]

### 2.3.3 Impulssitutkien kuljetusvaihtoehtoja

Yleisimpiä kuljetusvaihtoehtoja impulssitutkille jäällä on perässä vetäminen ajoneuvolla tai manuaalisesti kävellen. Ajoneuvon käyttämisen etuna on, että mittausnopeutta voidaan merkittävästi kasvattaa. [1, s. 6.] Alla olevassa kuvassa 6 näkyy molempia kuljetustapoja.



KUVA 6. Jään paksuuden mittauksia impulssitutkalla Heilongjiang joella Kiinassa [2, s. 87]

Perinteisten kuljetusvaihtoehtojen lisäksi on testattu esimerkiksi dronen soveltuvuutta impulssitutkan kuljettamiseen pakkasympäristössä. Northern Research Institute (NORUT) on käyttänyt Kraken Octocopter dronea impulssitutkan kuljettamiseen testattaessa sen käyttömahdollisuuksista lumen syvyyden mittauksissa. Kuljetettava impulssitutka painoi noin 4 kg. [3, s. 15.] Vaikka tutkat eivät ole yleensä kovin painavia, on dronen hyödyntämisen merkittävänä haasteena ja rajoituksena on kuitenkin monien mallien pieni hyvin nostovoima.



KUVA 7. @ Torgeir Vaa. Impulssitutkaa voidaan kuljettaa myös dronella [3, s. 15]



KUVA 8. @ Edward McCormack. Droneen kiinnitetty impulssitutka [3, s. 17]

## 2.4 Radiolaitteiden lupakäytäntöjä

Radiolaite on langaton radiotaajuuksia käyttävä laite, jonka tulee käyttää sille tarkoitettuja taajuuksia ja täyttää EU-alueella esitetyt vaatimukset. EU-alueella saa käyttää vain vaatimukset täyttäviä radiolaitteita. [1, s. 11.] Radiolaitteesta on löydettävä CE-merkintä ja laitteen mukana on oltava valmistajan laatima EU-vaatimustenmukaisuusvakuutus. Tällä dokumentilla valmistaja vakuuttaa, että laite täyttää sille asetetut vaatimukset [4.]

Väärällä taajuudella toimiva laite voi häiriintyä muista radiolaitteista ja tai häiritä muuta radioliikennettä, joten on tärkeää varmistaa käytössä olevan laitteen oikea taajuus. Mikäli laitteen käyttöön liittyy Suomessa rajoituksia, on selvítettävä mahdollisten radiolupien tarve. Radiolupaa voi hakea Traficom Liikenne ja Viestintävirastolta [4.] Taajuusalueella 30-12 400 MHz toimivat maa- ja seinätutkat tarvitsevat esimerkiksi radioluvan käyttöä varten [1, s. 11].

## 2.5 Jään kantavuus

Kantavuus jäätieellä riippuu siihen kohdistuvasta kuormituksesta ja jään ominaisuuksista. Molemmat voidaan jakaa kahteen komponenttiin. Kuormitus jaetaan kuormituspinnan suuruuteen ja kuormitusnopeuteen. Jään ominaisuudet jakaantuvat paksuuteen ja laatuun. Riippuvuus jään kantavuuden sekä paksuuden välillä voidaan esittää kaavan 6 avulla, jossa  $P$  on sallittu ajoneuvon massa tonneina,  $A$  on jään varmuuskertoimesta ja laadusta riippuva vakio ja  $h$  jään tehollinen paksuus senttimetreinä. [6, s. 368.]

(6)

$$P = A \cdot h^2$$

Vakion  $A$  arvoksi on esitetty monia vaihtoehtoja, koska eri tutkijat ovat käyttäneet erilaisia varmuuskertoimia sen määrittämisen teoreettisissa laskelmissa. Kuitenkin yleisesti suositellaan käytettäväksi arvoa  $A = 7,0 \cdot 10^{-3}$ . Mahdollisten halkeamien esiintyminen jäässä huomioidaan kaavassa 6 siten, että vakio  $A$  kerrotaan vielä omalla varmuuskertoimella. Virheetön jää on  $1 \cdot A$ , poikittaissuuntainen railo on  $0,5 \cdot A$ , pitkittäissuuntainen railo ajoneuvon kulkusuuntaan nähden on  $0,25 \cdot A$ . [6, s. 368.]

Alla olevassa taulukossa vakio  $A = 4,8 \cdot 10^{-3}$ . Esimerkiksi, jos jään paksuus on 50 cm, saadaan kaavalla 6 laskelmalla suurimmaksi sallituksi massaksi taulukosta 2 löytyvä tulos 12 tonnia. Teräsjää lasketaan kokonaan jään teholliseen paksuuteen, koska se on yhtenäistä ja lujaa jäätä. Lumen tiivistyessä ja veden jäätyessä syntyy tummaa kohvajäätä. Teräsjäähän kiinni jäätyessään tumma kohvajää otetaan huomioon jään kantavuudessa lisäämällä sen paksuudesta puolet tehollisen jään paksuuteen. Vaaleaa kohvajäätä ei lasketa teholliseen paksuuteen ollenkaan. Kahden erillisen jääkerroksen paksuutta ei voida laskea yhteen, jos välissä on ilmaa [7.]

Taulukko 2. Jään kantavuus riippuu sen tehollisesta paksuudesta [7]

<b>Jään tehollinen paksuus</b>	<b>Ajoneuvoyhdistelmän massa</b>
<b>≈ teräsjää + ½ kohvajään paksuus</b>	<b>suurin sallittu</b>
20 cm	2,0 tonnia
25 cm	3,0 tonnia
30 cm	4,5 tonnia
40 cm	7,0 tonnia
50 cm	12,0 tonnia
60 cm	17,0 tonnia
70 cm	23,0 tonnia
80 cm	31,0 tonnia
90 cm	39,0 tonnia
100 cm	48,0 tonnia
105 cm	60,0 tonnia

Ajoneuvolla ajettaessa vaikuttaa veden aaltoliike jään kantavuuteen paksuuden lisäksi. Jos veden aaltoliikkeen nopeus on sama kuin ajoneuvon nopeus, on jään kantavuus heikkoa. Silloin jään kuoren voi rikkoa liian jyrkäksi muodostunut aallon reuna. Mikäli jäällä liikkuu samanaikaisesti useampia ajoneuvoja, tulisi turvavälien olla ainakin 50 metriä. Lähestyttäessä rantaa on ajonopeuden oltava alle 20 km/h. Rantaviiva on ylitettävä ryömintävauhdilla, koska veden aaltoliike voi heijastua rannasta ja seurauksena ajoneuvon alle voi muodostua jääkuoren rikkova ristiaalokko [7.]

Taulukko 3. Kriittisiä nopeuksia jäällä erilaisilla veden syvyyksillä [7]

<b>Jään paksuus</b>	<b>Veden syvyys</b>			
	<b>3 m</b>	<b>5 m</b>	<b>10 m</b>	<b>20 m</b>
<b>25 cm</b>	22 km/h	28 km/h	34 km/h	36 km/h
<b>50 cm</b>	23 km/h	29 km/h	38 km/h	45 km/h



## 2.6 Jään ominaisuudet eri vuodenaikoina

Vesistö alkaa jäätyä syksyllä pintaveden laskiessa alle 0 °C. Ranta-alueet ja lahdet jäätyvät ensimmäisenä. Viimeisenä jäätyvät syvänteet, ulapat ja virtaavat vedet. Kävellessä liikuttaessa jäällä on varmistettava, että teräsjään paksuus on vähintään 5-10 cm. Lisäksi on muistettava, että syysjään paksuus vaihtelee eri puolilla vesistöä [8.]

Auringon vaikutus jäähän voimistuu keväällä ilman lämmitessä aiheuttaen vesistöjen lumi- ja jääpeitteen sulamisen. Jääkerros alkaa haurastumaan suojaavan lumipeitteen sulaessa päältä. Jäähän muodostuu sitä haurastuttavia onkaloita. Haurastuneen jään kantavuutta ei voi enää päätellä tehollisesta paksuudesta, vaan jopa 20-30 cm paksuinen jää voi muuttua niin hauraaksi, että ei pysty kantamaan edes ihmisen painoa [8.]

## 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 3.1 ImpulseRadar PLT600

Jään paksuuden mittauksessa ja kuljetinratkaisun prototyypin testauksessa käytetty impulssitutka PLT600 on ruotsalaisen ImpulseRadar-yhtiön valmistama (Kuva 9). Mittausdata on tarkasteltavissa suoraan tabletilla reaaliajassa. Skannattu reitti tallentuu myös karttaan tabletilla mittauksien jälkeen. Kuvissa 23 ja 24 on esimerkit Geolitix:llä käsitellystä mittausdatasta ja näkymästä tabletilla (Liite 1). Geolitix on yhtiön julkaisema GPR-datan analysointiin käytettävä pilvipalvelualue. Tutka painaa vain 3,5 kg. Suojausluokka on IP65, eli se on pölytiivis ja suojattu vedeltä. Käyttölämpöalue on -20°C-50°C, joten käyttömahdollisuuksia on hyvin vaativissakin ympäristöolosuhteissa.



KUVA 9. @ Aki Volanen. PLT600

### 3.2 Työnnettävä kuljetusalusta

Impulssitutkan kuljetusalusta suunnitellaan Solidworks 3D CAD-ohjelmalla. Kuljetusalustasta tehdään 3D-malli sekä osien valmistus- ja kokoonpanopiirustukset (Liite 3). Tärkeimpiä suunnitteluvaatimuksia kuljetusalustalle ovat työnnettävyys turvallisen välimatkan päästä, kelluminen vedessä, korkeuden säätö sekä kevyt rakenne. Impulssitutkan oma antenni aiheuttaa ylimääräisen heijastuksen mittausdataan ja tämä voidaan välttää nostamalla tutkan mittauskorkeutta jään pinnasta. Lumihan- gessa kuljetusalustaa työnnettäessä lumikerros itsessään antaa mittauskorkeutta tutkalle, mutta ohuella jäällä kuljetusalustan korkeutta on oltava mahdollista nostaa ylemmäs.

Kuljetusalustan testausta varten prototyyppi valmistetaan Savonia-ammattikorkeakoulun konelaboratoriossa Kuopion Microkadun kampuksella. Testaukset suoritetaan kuljetusalustan tulevassa käyttöympäristössä, eli Kallaveden luonnonjäällä tammi-, helmi- ja maaliskuun aikana. Testauksien perusteella kuljetusalustaa kehitetään valmiiksi ja jään paksuuden mittauksissa käyttökelpoiseksi prototyyppiä. Myöhemmin prototyyppistä tehdään lopullinen ja valmis tuote.

### 3.3 Matrice 300 RTK drone tutkan kuljetuksessa

Matrice 300 RTK dronen suojausluokka on IP45 ja käyttölämpötila-alue on  $-20-50$  °C. Enimmillään yhtäjaksoinen lentoaika on 55 minuuttia, ohjausyhteyden kantomatka 15 kilometriä ja suurin nostokuorma on 2,7 kg [10.] Rungossa on useita kiinnityspisteitä, joita varten on mahdollista suunnitella teline impulssitutkaa varten (Kuva 10). Koska drone kallistuu hieman eteenpäin mentäessä, on kiinnitysratkaisussa oltava nivel, joka mahdollistaa tutkan pysymisen vakaana niin, että sen pohja osoittaa kohtisuorassa jäähän.



KUVA 10. @ Aki Volanen. Impulssitutkan kuljettamista varten käytettävä drone

## 4 TULOKSET

### 4.1 Työnnettävä kuljetusalusta

Työnnettävän kuljetusalustan keskeisimpiä komponentteja ovat kumirengas ja sen päälle asetettava ohutseinäputkesta renkaaksi taivutettu runko, johon on hitsattu kiinnittimiä sekä kannattimia. Kaikki muu kuljetusalustassa rakentuvat näiden kahden komponentin ympärille. Impulssitutka asetetaan kuljetusalustan ensin hieman tyhjillään olevan kumirenkaan keskelle, minkä jälkeen rengas täytetään kokonaan ilmalla ja tutka puristuu sen sisälle tiukasti kiinni (Kuva 12). Tämän jälkeen renkaaksi taivutettu putkirunko kiinnitetään kumirenkaan alta lähteviin D-solkiin kiristysvaihnoilla, jotta se ei pääse siirtymään pois paikoiltaan kuljetusalustaa työnnettäessä.

Kumirenkaan ympärillä on suojakangas, jossa on 5 millimetrin paksuinen muovipohja. Mikäli mitattavan jään paksuus on ohut ja murtuu kuljetusalustan alta, mahdollistaa kumirengas kellumisen eikä arvokas impulssitutka pääse uppoamaan veteen. Muovipohja auttaa myös kuljetusalustaa liukumaan tehokkaasti jäällä ja lumessa sekä kestää hyvin kulumista luonnonjään haastavissa ympäristöolosuhteissa.

Kuljetusalustan työntäminen tapahtuu alumiinista valmistetuilla 8 metrin pituiseksi säädettävillä teleskooppivarsilla. Ohjausputkeen kiinnitetyissä teleskooppivarsien putkitupeissa on nivelet, jotka mahdollistavat teleskooppivarsien kääntymisen kuljetusalustaan nähden. Kuljetusalustan korkeutta on mahdollista säätää suksien jaloista. Alla olevassa kuvassa 11 on kuljetusalustan kokoonpanon 3D-malli, josta tehty tarkempi kokoonpanon ohje löytyy liitteestä 3 ja piirustuksesta nro. 17.



KUVA 11. Työnnettävän kuljetusalustan 3D-malli

Jotta kokoonpano onnistuisi mahdollisimman helposti ja ilman työkaluja kylmissä talviolosuhteissa, kiinnittyvät kaikki teräksestä valmistetut osat toisiinsa rengas- ja putkisokilla. Märässä ja loskaisessa käyttöympäristössä tutka voidaan laittaa omaan suojaussiin. Lisäksi rengasrunkoon kiinnitetään neppareilla myös toinen suojakangas vesi- ja lumiroiskeiden varalle (Kuva 13). Käytön jälkeen kuljetusalustaa ei tarvitse purkaa, vaan impulssitutka voi olla paikoillaan kuljetusalustassa niin pitkään kuin mittauksia tarvitsee tehdä. Roiskesuojakangaan poistamisen jälkeen tutka on helppo laittaa laukukseen ja kankaan takaisin asettamisen jälkeen kuljetusalusta on taas nopeasti käyttövalmis.



KUVA 12. @ Aki Volanen. Työnnettävän kuljetusalustan kokoonpano

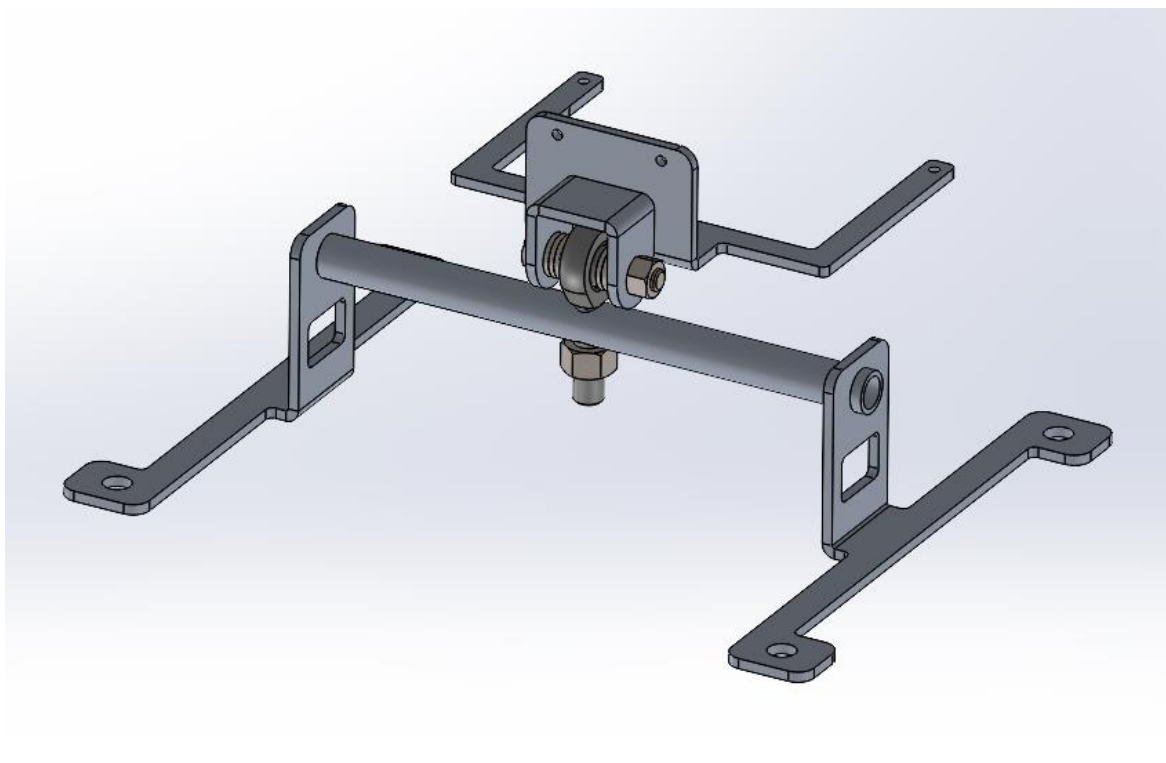




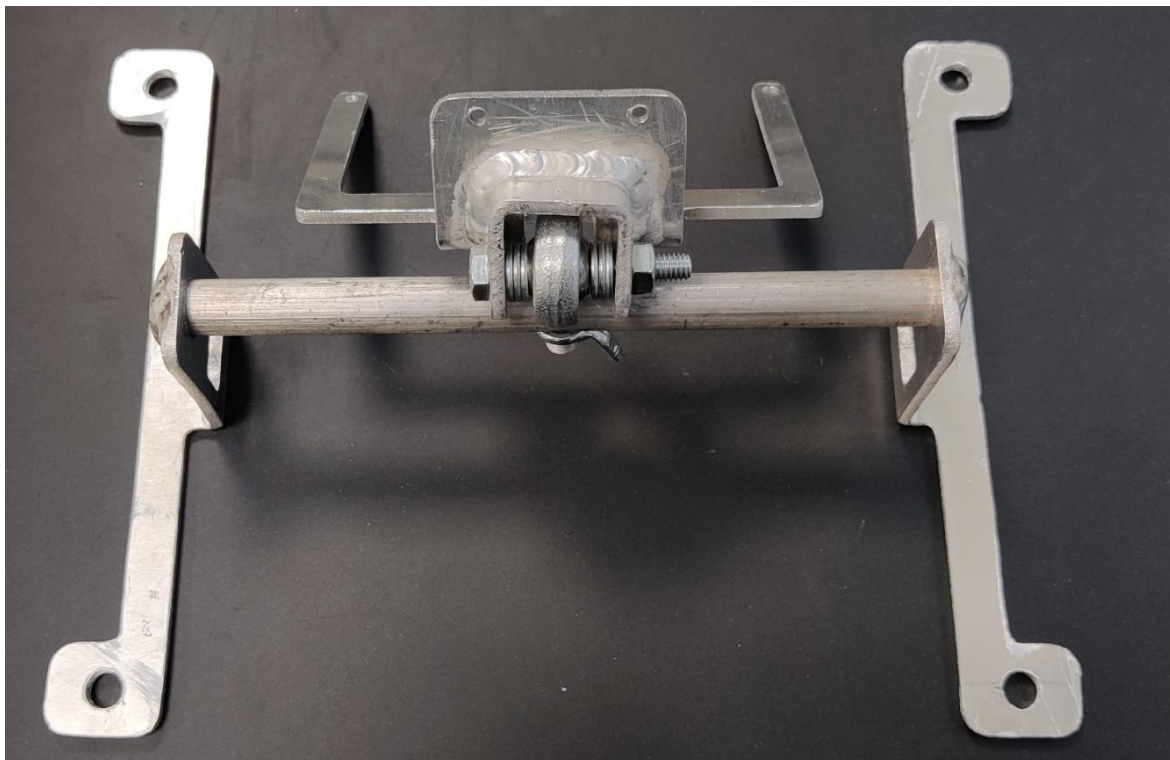
KUVA 13. @ Aki Volanen. Työnnettävä kuljetusalusta Kallaveden luonnonjäällä

#### 4.2 Matrice 300 RTK dronen teline ja impulssitutkan telakka

Dronen telineen ja impulssitutkan telakan levyosat ovat valmistettu 3 millimetrin paksuisesta alumiinilevystä polttoleikkaamalla ja särmäämällä. Molemmissa kokoonpanoissa osat ovat TIG-hitsattu toisiinsa kiinni (Kuva 15). Telineessä on 4 reikää, joista se kiinnitetään dronen runkoon M3-ruuveilla. Telakka kiinnitetään tutkasta irrotettujen kahvojen M8-ruuvireikiin. Teline ja telakka yhdistetään toisiinsa nivelvarren sekä telakan keskellä olevan alumiiniputken avulla ja kiinnitetään M8-mutterilla. Alla olevassa kuvassa 14 on telineen ja telakan kokoonpanon 3D-malli, josta tehty tarkempi kokoonpanon ohje löytyy liitteestä 4 ja piirustuksesta nro. 7.



KUVA 14. Dronen telineen ja impulssitutkan telakan kokoonpanon 3D-malli



KUVA 15. @ Aki Volanen. Valmistettujen dronen telineen ja impulssitutkan telakan prototyypit

## 5 TULOKSIEN TARKASTELU

### 5.1 Työnnettävä kuljetusalusta luonnonjäällä

Prototyyppiä testattiin kolme kertaa Kallaveden luonnonjäällä Kuopiossa. Kuljetusalusta liukuu hyvin jäällä ja lumihangessa sekä on kevyesti työnnettävissä teleskooppivarsilla pitkän matkan päästä (Kuva 16). Mittausdata on nähtävissä tabletilla ja päivittyy koko ajan reaaliajassa kuljetusalustaa työnnettäessä, joten mahdollinen edessä oleva heikko jää on ajoissa havainnoitavissa vaaratilanteiden välttämiseksi.



KUVA 16. @ Aki Volanen. Työnnettävän kuljetusalustan testausta Kallaveden luonnonjäällä



Kuljetusalustaa testattiin ensimmäisellä testauskerralla ilman suksia ja toisella suksien kanssa. Testeistä huomattiin, että sukset auttavat merkittävästi kuljetusalustan ohjauksessa. Kuljetusalustaa on helpompi hallita lumessa suoraan mentäessä ja erityisesti kääntyessä. Putkitupeissa olevien nivelien ansiosta kuljetusalustalla on mahdollista tehdä jyrkkiäkin käännöksiä tehokkaasti pitkän työntöetäisyyden päästä (Kuva 17).



KUVA 17. @ Aki Volanen. Kuljetusalustaa voidaan kääntää helposti putkituppien nivelien avulla

Impulssitutkan oma antenni luo mittausdataan ylimääräisen heijastuksen, mikä on korjattavissa nostamalla kuljetusalustaa ylemmäs. Kolmannella testauskerralla kokeiltiin korkeuden säätöä suksien jalkojen avulla (Kuva 18). Kuljetusalustan nostaminen ei vaikuta ohjattavuuteen, vaan työntäminen eteenpäin ja kääntyminen sujuvat normaalisti samalla tavalla kuin kuljetusalustan ollessa alas lasketuna. Idea siis toimii, mutta vaatii kuitenkin jatkokehitystä, koska optimaalisimpien mittaustuloksien saavuttamiseksi ohuella jäällä (paksuus alle 10 cm) tutkan olisi oltava jopa 30 cm korkeudella jään pinnasta. Tähän korkeuden tavoitteeseen ei kuitenkaan tässä prototyypissä päästy ja antennin heijastuksen poistamiseksi mittauskorkeus jää merkittävästi vajaaksi. Jatkokehityksenä kuljetusalustan korkeuden säätöä tulisi kehittää vielä niin, että impulssitutka saataisiin 30-40 cm mittauskorkeuteen.

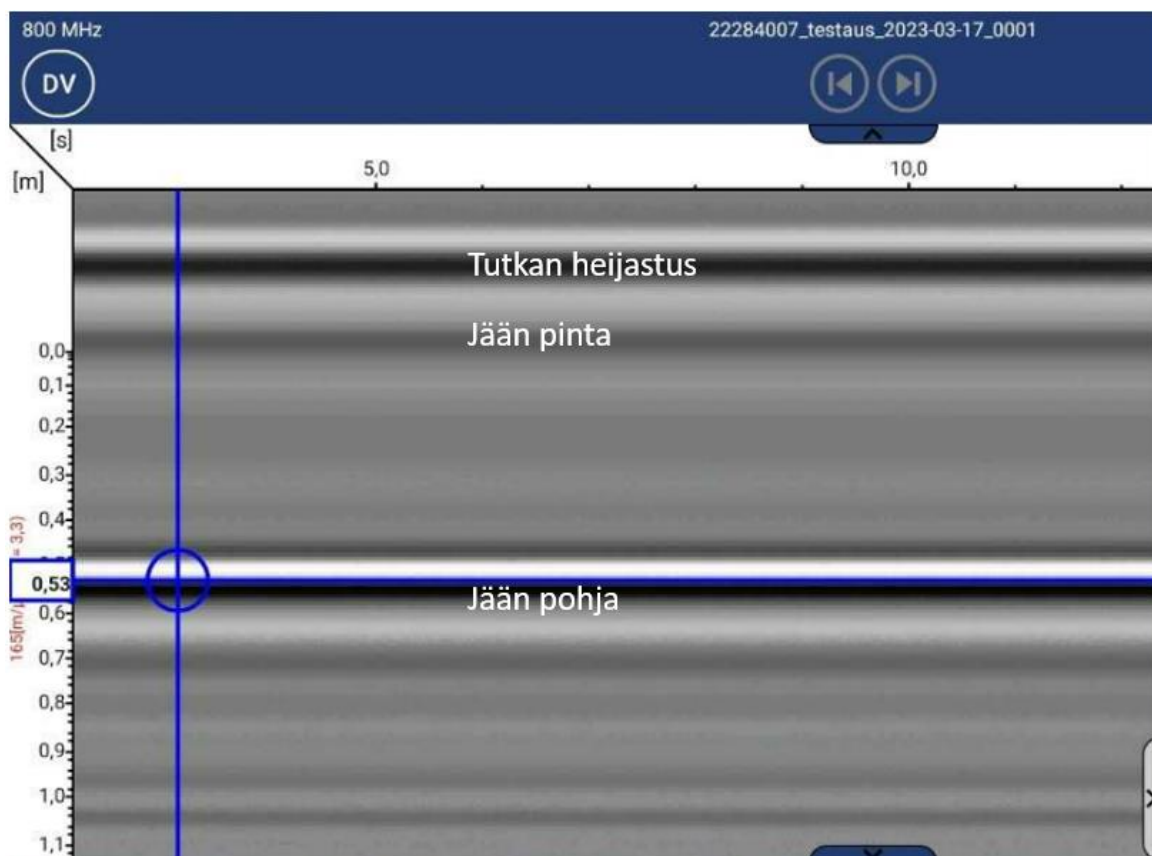


KUVA 18. @ Aki Volanen. Kuljetusalustan korkeutta voidaan nostaa suksien jaloista



KUVA 19. @ Aki Volanen. Kuljetusalusta luisteluradalla

Työnnettävän kuljetusalustan prototyypin kanssa Kallaveden luonnonjäällä on samalla testattu myös impulssitutkan toimivuutta jään paksuuden mittauksessa. Mittausdata voidaan tulkita reaaliaikaisesti ViewPoint-applikaation näkymästä. Alla olevassa kuvassa 20 olevan mittausdatan perusteella kuljetusalustan kohdalla jään paksuus on ollut 53 cm testauspäivänä 17.03.2023. Käytetty mittaustaajuus oli 800 MHz. Raidat ovat tasaisia, koska kuljetusalusta seiso i sillä hetkellä paikoillaan. Mikäli kuljetusalustaa työnnettäisi eteenpäin epätasaisella lumella tai jäällä, olisivat raidat tärinän takia väriseviä (Liite 1, kuva 24). Mittausdata olisi tästä huolimatta kuitenkin täysin käyttökelpoista. Vaikka mittausdatassa näkyy tutkan antennin oma heijastus, ovat mittaus tulokset tarkkoja yli 10 cm paksulla jäällä ja nollakohtaa on tulosten tulkinnan helpottamiseksi mahdollista siirtää jään pinnan kohdalle.



KUVA 20. Impulssitutkan antamaan mittausdataa Kallaveden luonnonjäältä kuljetusalustan kanssa



## 5.2 Valmistettu Matrice 300 RTK dronen teline ja impulssitutkan telakka

Koska impulssitutka on liian suurikokoinen, eikä sen sisällä olevaa elektroniikkaa ole mahdollista siirtää pienempään tilaan, ei koelentoa impulssitutkan kanssa päästy toteuttamaan. Vaikka tutka ei olekaan painava, on se silti liikaa dronelle nostettavaksi. Painavan akun irrottaminen tutkasta ja virran ottaminen suoraan dronesta voisi mahdollistaa riittävän nostovoiman, mutta tutkan suuri koko estäisi joka tapauksessa lennättämisen. Dronen kallistuessa eteenpäin lentäessä tutka osuisi siipien roottoreihin (Kuva 21).



KUVA 21. @ Aki Volanen. Impulssitutka kiinnitettynä droneen

Alumiinista valmistetut teline ja telakka ovat hyvin kevyitä ja niiden yhteispainon ei pitäisi vaikuttaa merkittävästi dronen nostokykyyn. Lisäksi telineessä olevan pallonivelen ansiosta impulssitutka pysyisi vakaana ja sen lähettämä signaali osoittaisi kohtisuorassa alaspäin jätää kohti, vaikka drone kallistuisi mihin tahansa suuntaa lentäessä (Kuva 22). Toinen mahdollinen valmistusmenetelmä telineelle ja telakalle olisi 3D-tulostaminen. Tarkkoja mittoja sisältävien levyosien valmistaminen olisi helpompaa ja monilta erilaisilta aikaa vieviltä valmistusvaiheilta vältyttäisiin.



KUVA 22. @ Aki Volanen. Dronen teline ja impulssitutkan telakka

Mikäli impulssitutka olisi pienempi ja kevyempi, olisi sen kuljetus dronella kuitenkin mahdollista. Tämä vaatisi kuitenkin jatkotuotekehitystyötä tutkan valmistajalta, jotta siitä saataisiin kooltaan sopivampi dronella kuljettamista varten. Dronen avulla jään paksuuden mittaamisen tuomat mahdollisuudet impulssitutkalla olisivat hyvin merkittäviä. Luonnonjään kestävyuden ollessa vielä epävarmaa, voitaisiin nopeasti kartoittaa suurikin alue dronea hyödyntämällä. Lisäksi työturvallisuus kasvaisi huomattavasti, koska kenenkään tarvitsisi mennä kävelemään tuntemattomille jäille ollenkaan, kun dronea ohjattaisiin rannalta.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

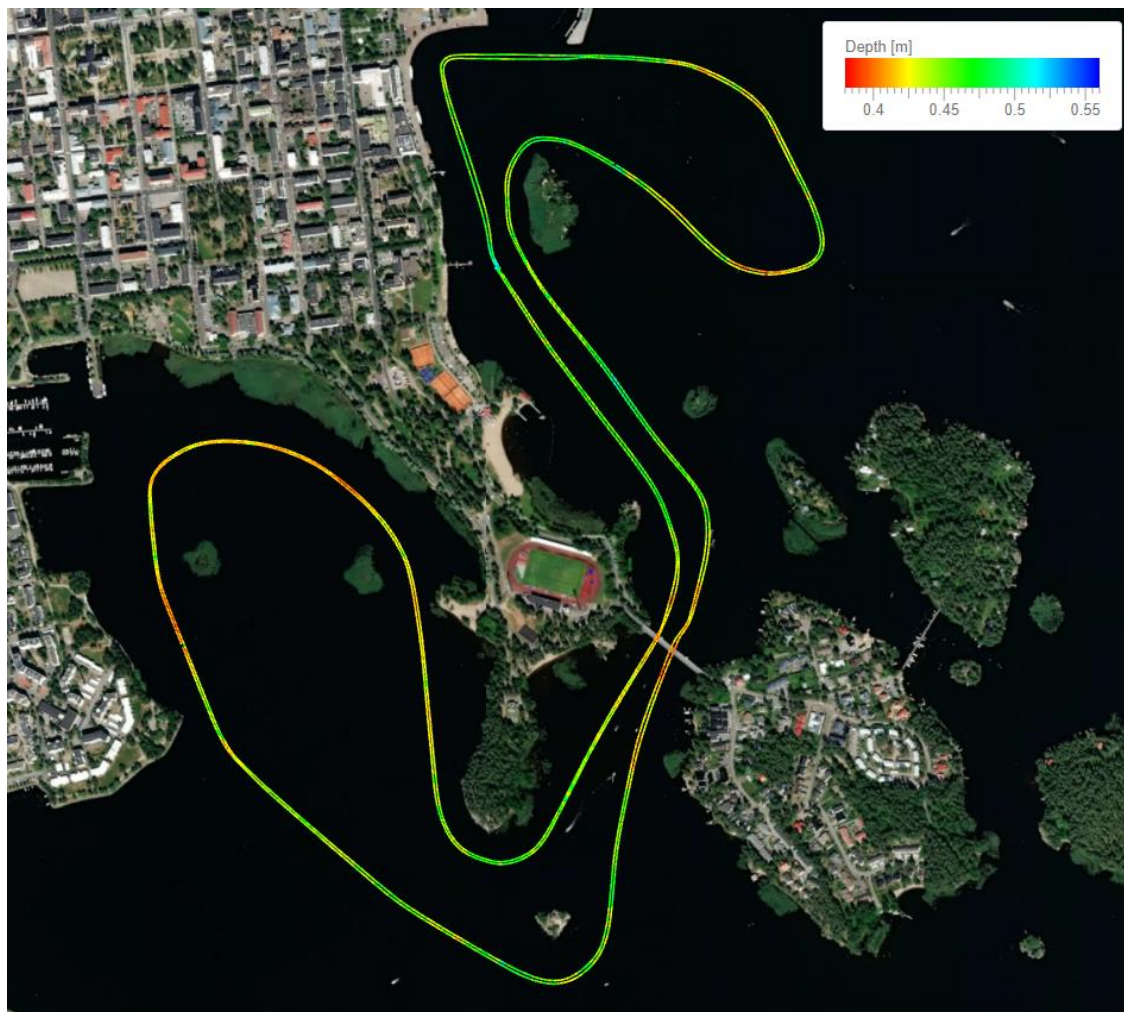
Opinnäytetyössä onnistuttiin suunnittelemaan, valmistamaan ja testaamaan toimiva teleskooppivar-silla työnnettävä kuljetusalustan prototyyppi, jolla impulssitutkaa voidaan kuljettaa jään paksuuden mittauksissa turvallisen etäisyyden päästä luonnonjään kestävyuden ollessa epävarmaa sekä kartoitettaessa uusia alueita mahdollisia reittimuutoksia varten. Jatkotuotekehityksenä lumipinnalle käytettävien suksien tilalle voitaisiin olosuhteiden mukaan vaihtaa esimerkiksi retkiluistimen terät, jotka soveltuisivat paremmin jääpinnalle. Lisäksi ohuella jäällä mittaustarkkuus paranee, jos tutka olisi 30-40 cm korkeudella jään pinnasta, joten kuljetusalustan korkeuden säätöä tulisi vielä kehittää. Tässä työssä kehitetyn kuljettimen toimintaperiaatteen mukaisesti oletetaan, että impulssitutka kulkee suoraan jään pintaa pitkin tai vaihtoehtoisesti paksun lumikerroksen päällä.

Dronen hyödyntämisen mahdollisuuksia jään paksuuden mittauksissa tutkittiin myös. Koelentoa ei päästy tekemään, koska impulssitutka on liian suurikokoinen ja painava dronelle nostettavaksi. Kuitenkin tuotekehityksen kautta suunnitteleamalla tutkan rakenteesta tähän tarkoitukseen soveltuvampi, on impulssitutkan kuljettaminen jään paksuuden mittauksessa dronella toteutettavissa.

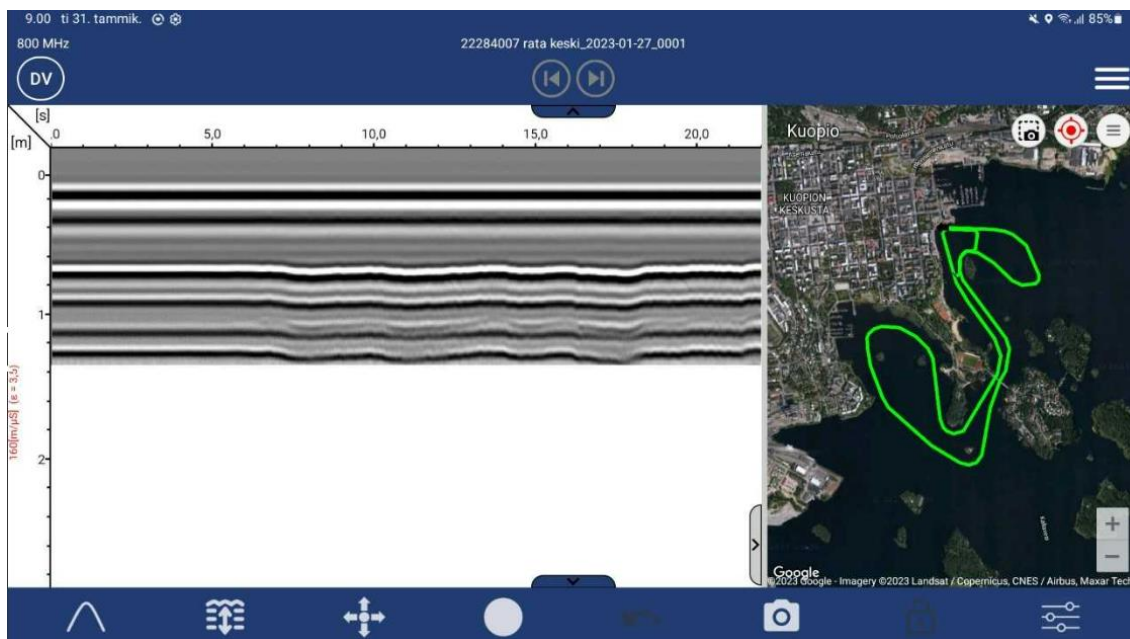
## LÄHTEET

1. Marttila, I. Jäänpaksuusmittauksia impulssitutkalla. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2019. Saatavissa: [https://cris.vtt.fi/files/25300198/VTT\\_CR\\_00493\\_19.pdf](https://cris.vtt.fi/files/25300198/VTT_CR_00493_19.pdf) [viitattu 24.12.2022]
2. Hui, F. Liu, Z. Guo, X, Cui, H. Double Frequency ground penetrating radar for measurements of ice thickness and water depth in rivers and canals: Deveploment, verification and application. *Cold Regions Science and Technology* 154 (2018) 85-94.
3. McCormack, E. Vaa, T. Håland, G. Humstad, T. Frauenfelder, R. Evaluating Sensors for snow avalanche monitoring unmanned aircraft system. Statens Vegvesen: Norwegian Public Roads Administration. Norwegian University of Science and Technology (NTNU). 2018. [viitattu 25.12.2022]
4. Radiolaitteen ostaminen ja käyttö. Liikenne ja Viestintävirasto Traficom. 2022. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/radiolaitteen-ostaminen-ja-kaytto> [viitattu 28.12.2022]
5. PLT600. Technical specifications. ImpulseRadar. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://impulseradargpr.com/plt600/> [viitattu 04.01.2023]
6. Saarilahti, M. Mikroaaltotutka jään paksuuden mittaukseen. Suomen Metsätieteellinen seura. *Silva Fennica* Vol. 15, N:o 4:366-367. 1981. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15187/15-No%204\\_Saarilahti.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/15187/15-No%204_Saarilahti.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 27.03.2023]
7. Ajoneuvo jäälle?. Ilmatieteen laitos. WWW-dokumentti. 2021. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ajoneuvolla-jaalle> [viitattu 27.03.2023]
8. VESI.fi. Jäättilanne. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.vesi.fi/jaatilanne/> [viitattu 27.03.2023]
9. Meri jäätyy ja sulaa. Ilmatieteen laitos. WWW-dokumentti. 2022. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/meri-jaatyy> [viitattu 27.03.2023]
10. Matrice 300 RTK. DJI. WWW-dokumentti. 2023. Saatavissa: <https://www.dji.com/fi/matrice-300> [viitattu 27.03.2023]

## LIITE 1: ICE MARATHONIN REITTI KALLAVEDELLÄ



KUVA 23. Impulssitutkalla skannattu reitti Kallavedellä



KUVA 24. Impulssitutkalla skannattu reitti näkyvillä tabletilla mittausdatan vieressä kartalla



## LIITE 2: IMPULSSITUTKAN TEKNISET TIEDOT

Taulukko 4. ImpulseRadar PLT600 tekniset tiedot [5]



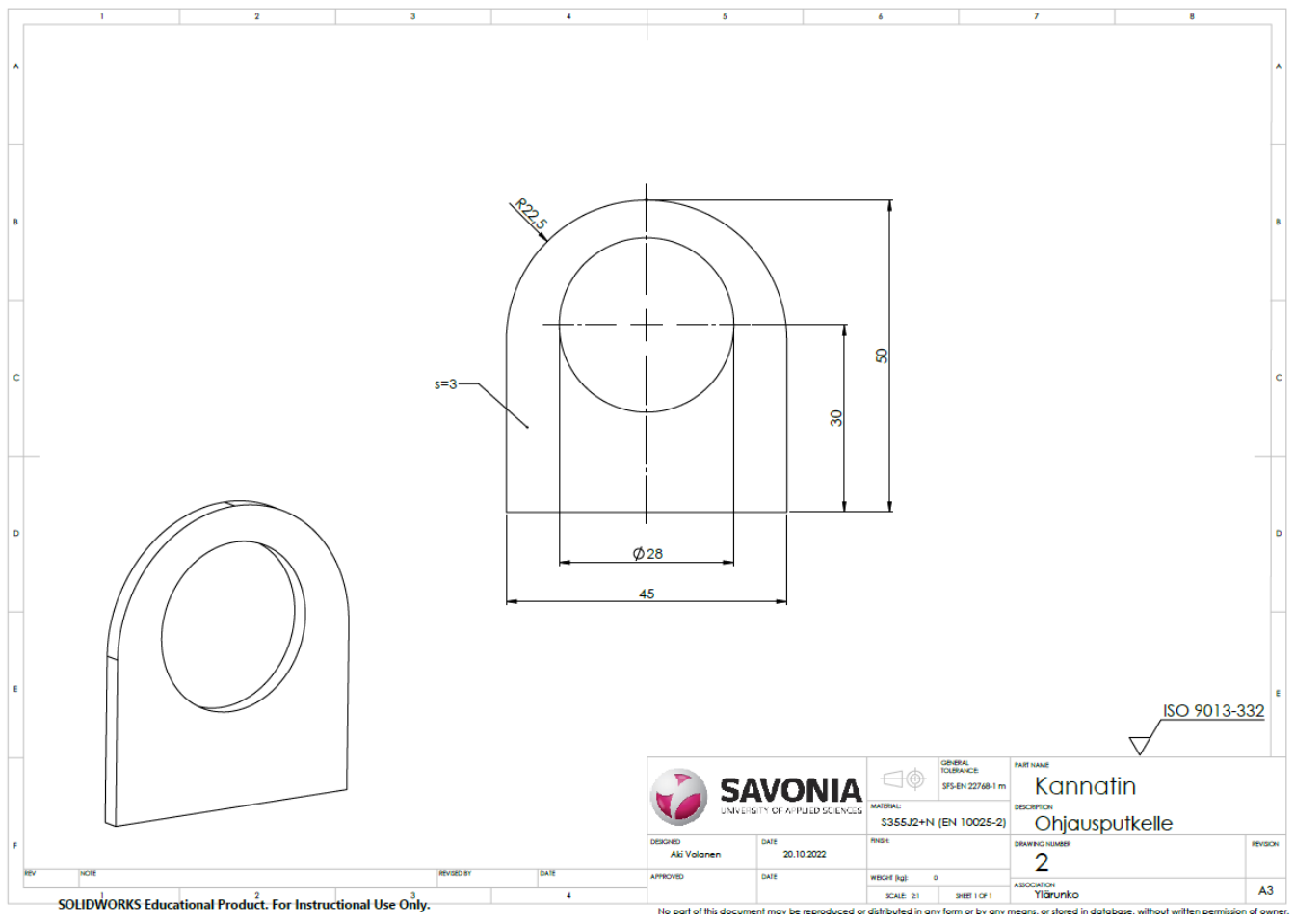
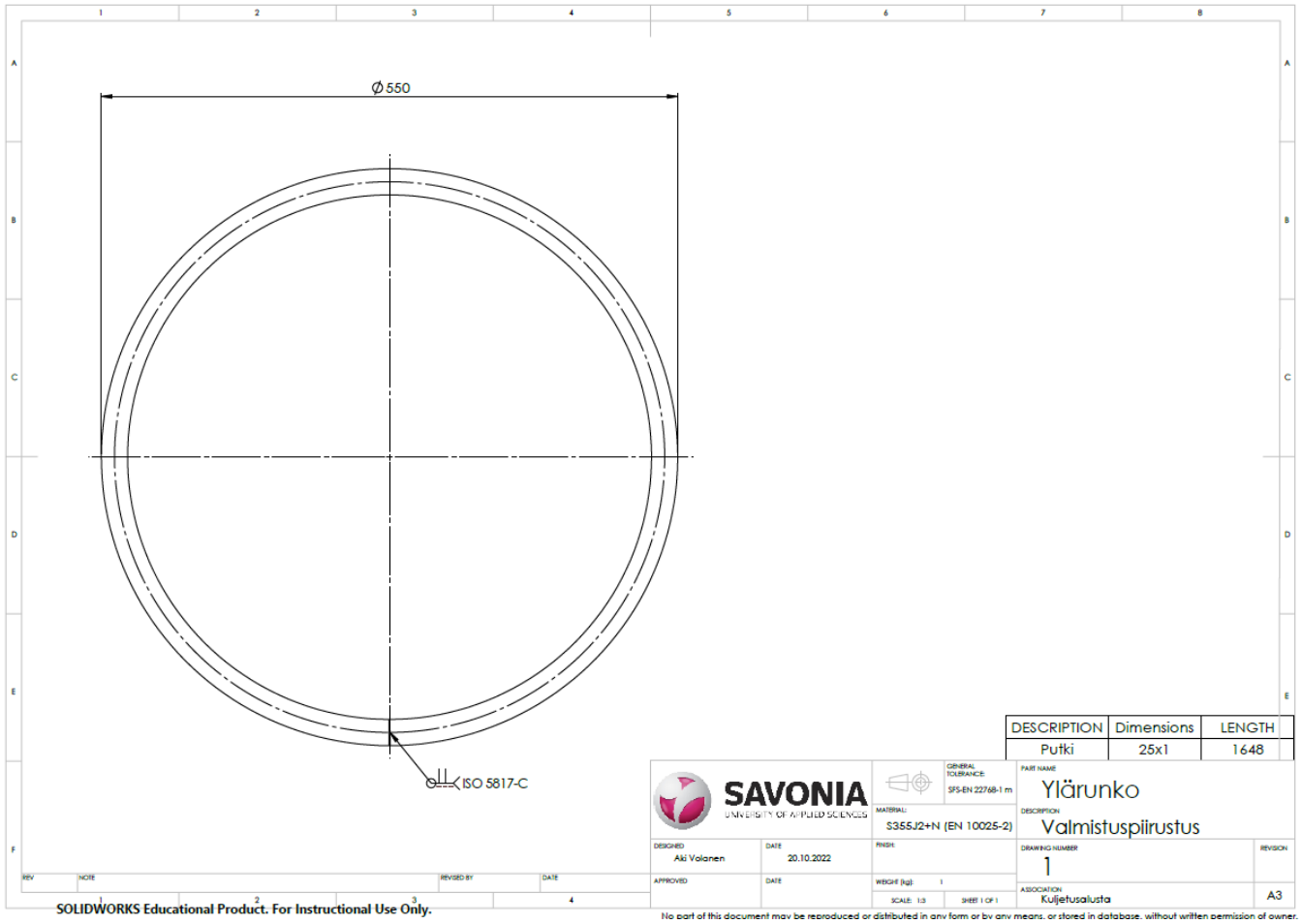
Technical Data Sheet  
V2/August 2020

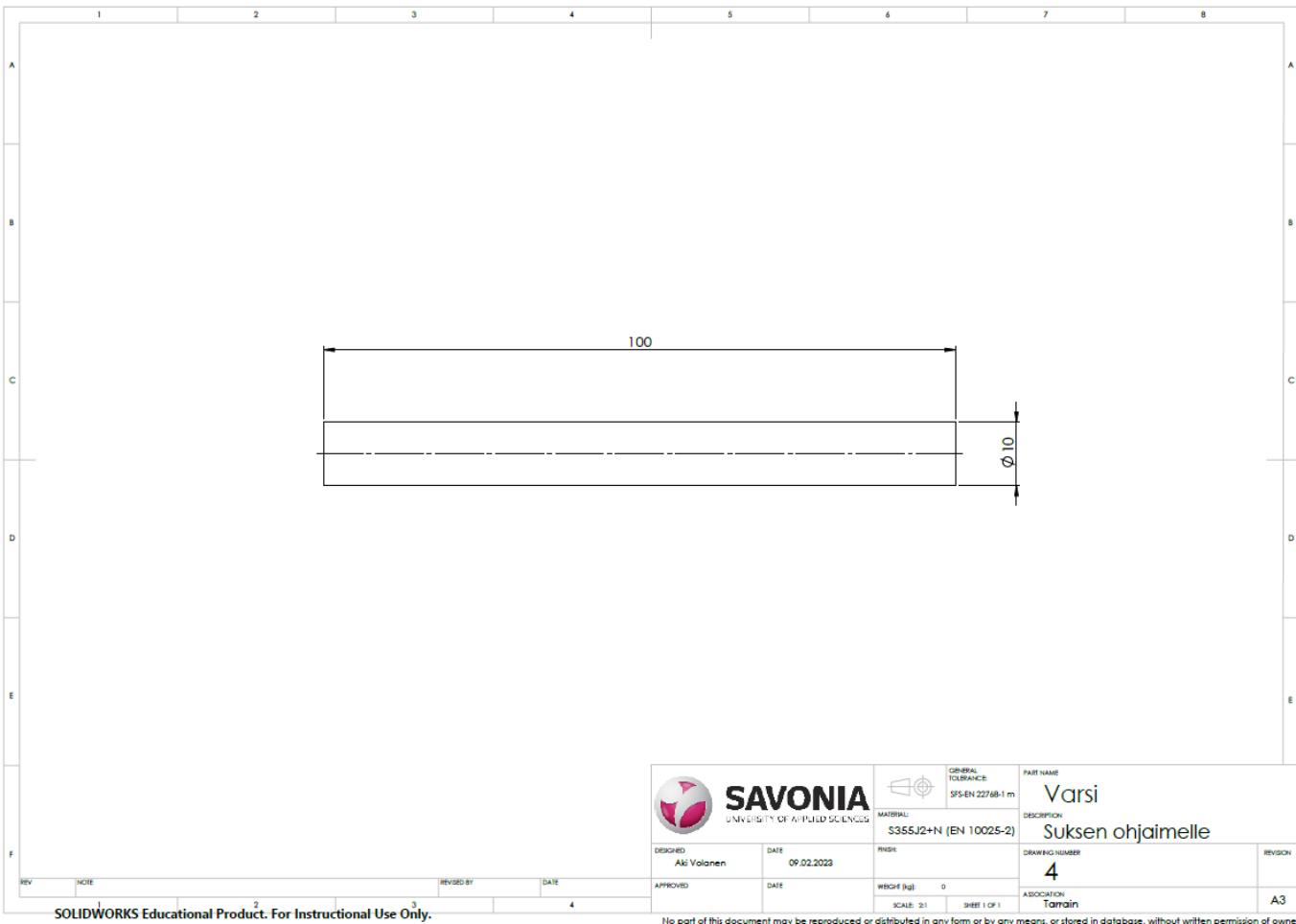
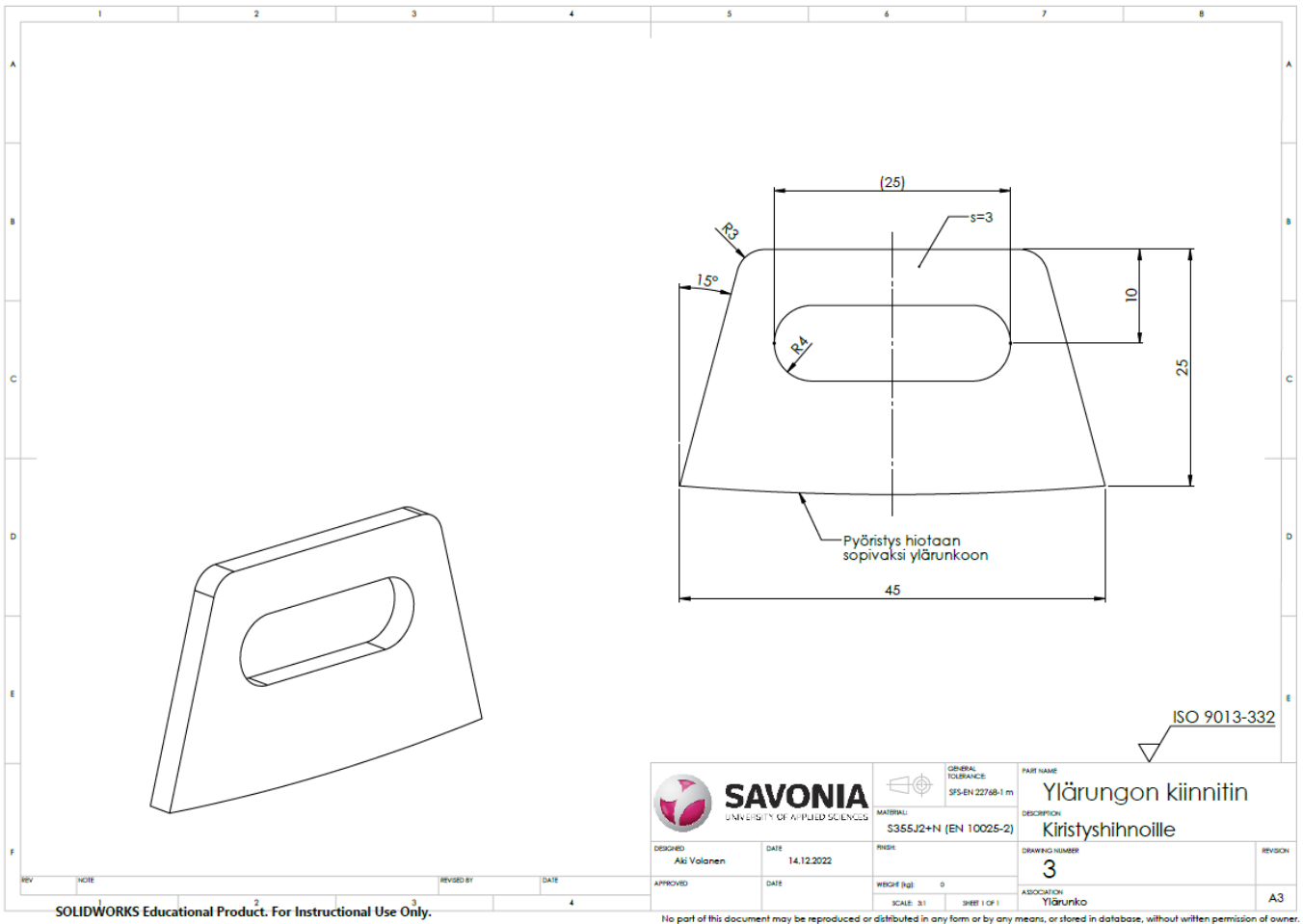
## ImpulseRadar PLT600

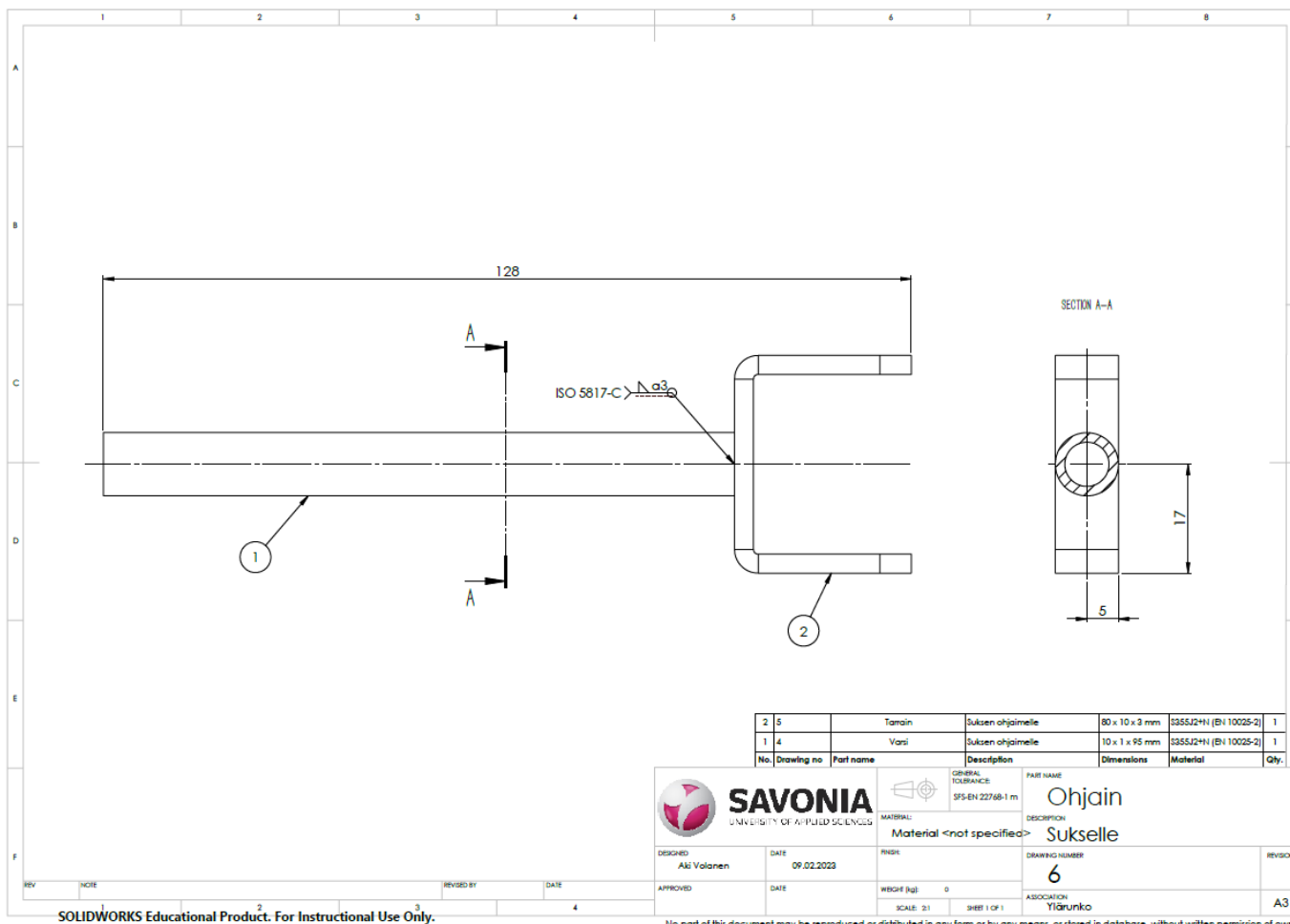
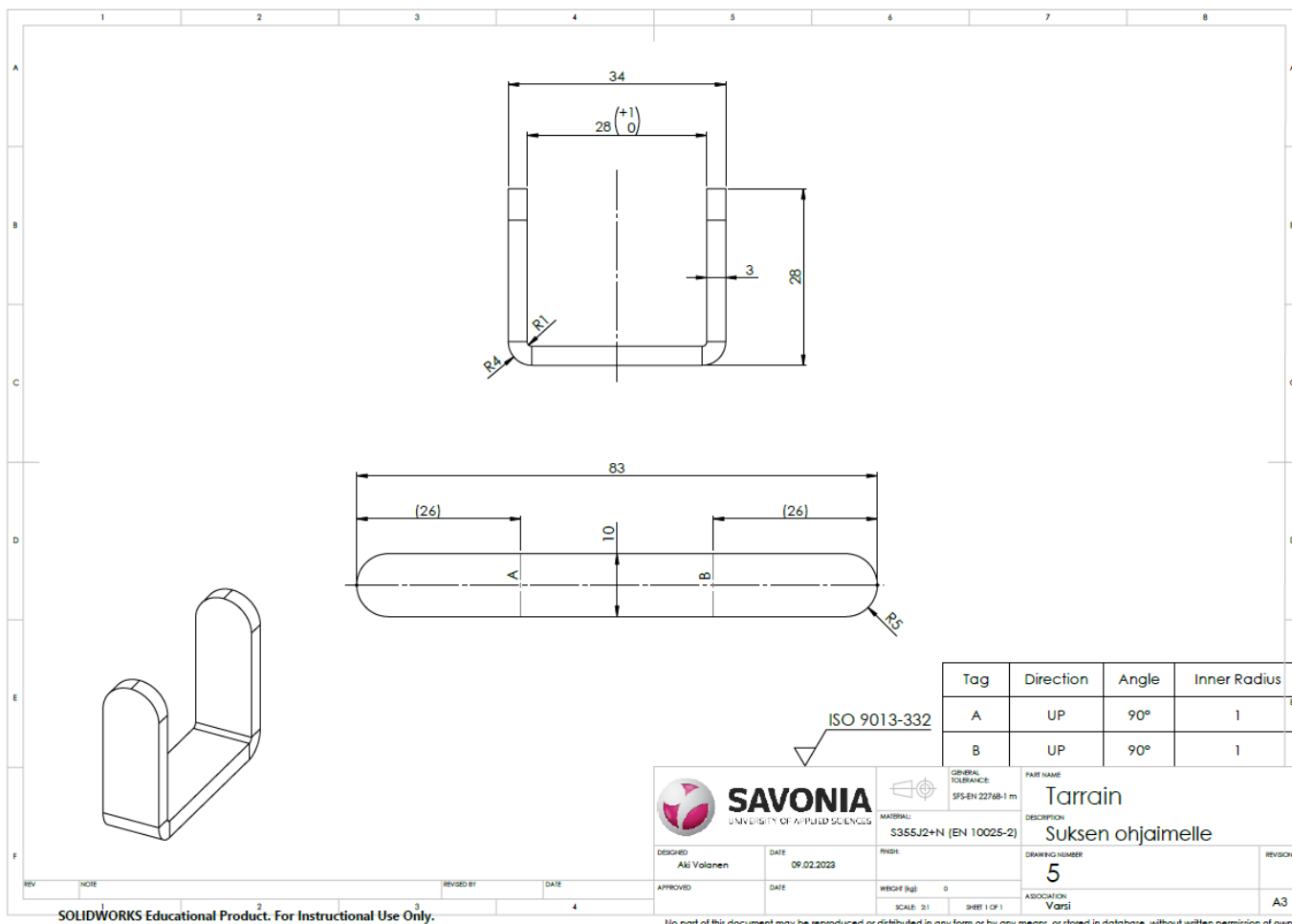
ANTENNA	DESCRIPTION
<b>Technology</b>	ImpulseRadar real-time sampling
<b>Antenna type</b>	PLT single channel
<b>Centre frequency</b>	600 MHz
<b>Signal to noise ratio (SNR)</b>	>96 dB
<b>Significant/useful number of bits</b>	>16 bit
<b>Scans/second</b>	>800
<b>Survey speed</b>	> 130 km/h @ 5 cm point interval
<b>Time window</b>	>400ns
<b>Bandwidth</b>	>120%, fractional, -10 dB
<b>Acquisition mode</b>	Wheel, time or manual
<b>Positioning</b>	Wheel encoder, internal DGPS, external GPS (NMEA 0183 protocol)
<b>Power supply</b>	12 V Li-Ion rechargeable battery
<b>Power consumption</b>	1.0 A
<b>Operating time</b>	>8 hours
<b>Dimensions</b>	280 x 255 x 200 mm (including handles)
<b>Weight</b>	3.5 kg (including internal battery)
<b>Operating temperature</b>	-20° to +50°C
<b>Environmental</b>	IP65
<b>Regulatory certification</b>	Approvals pending for CE, FCC, and IC
ODOMETER WHEEL	
<b>Diameter</b>	∅ 150 mm
<b>Weight</b>	0.4 kg
USER INTERFACE	
<b>Display</b>	720 x 1280 pixel or better
<b>Operating system</b>	Android™ >ver. 6 (Marshmallow) or later
<b>Memory</b>	2.7 GB SDRAM or better
<b>Processor</b>	Intel Atom x5-Z8550, Quad-core 2.3 GHz Krait 400 or better
<b>Recommendation</b>	Samsung Galaxy Tab Active Pro (or equivalent)

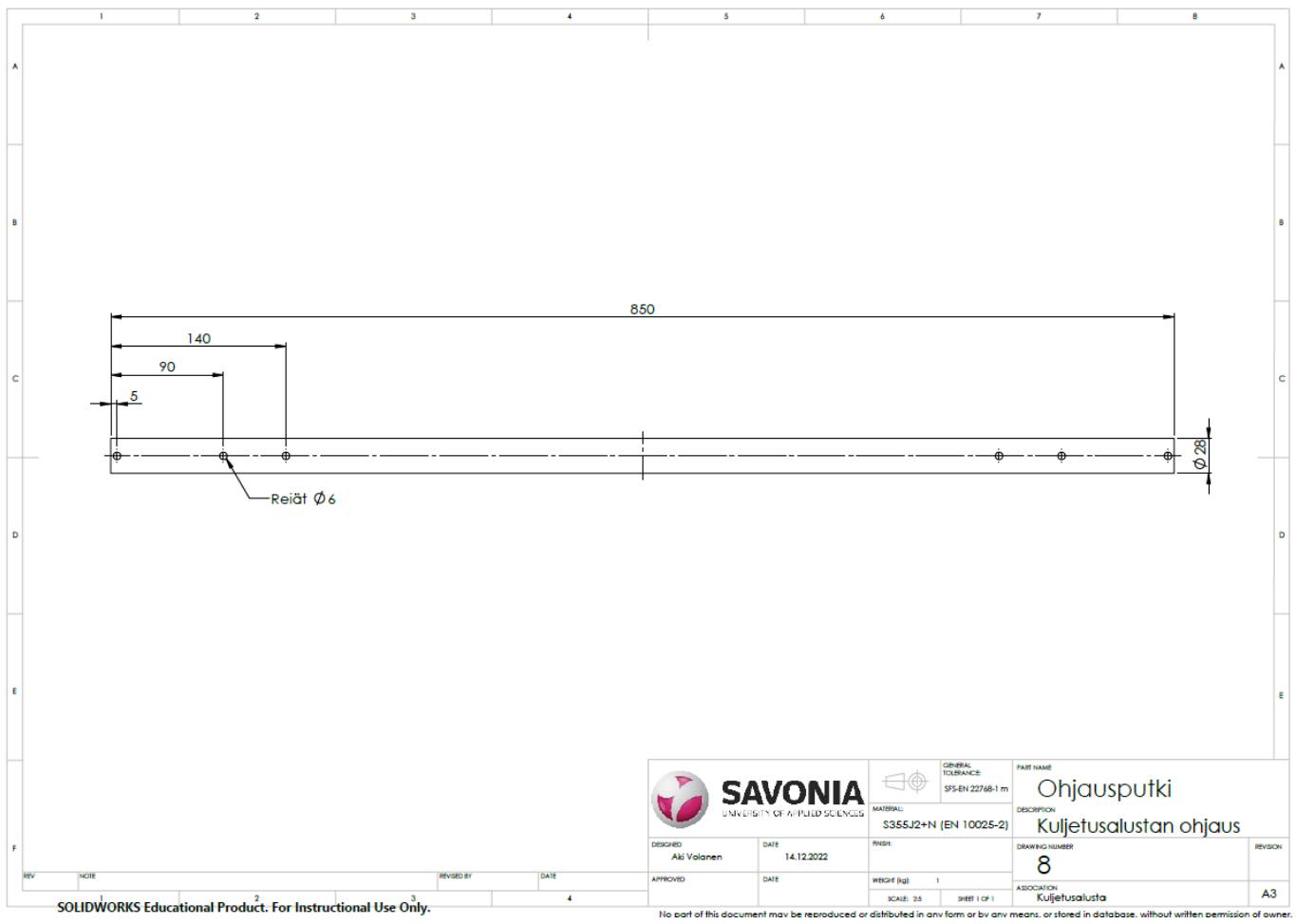
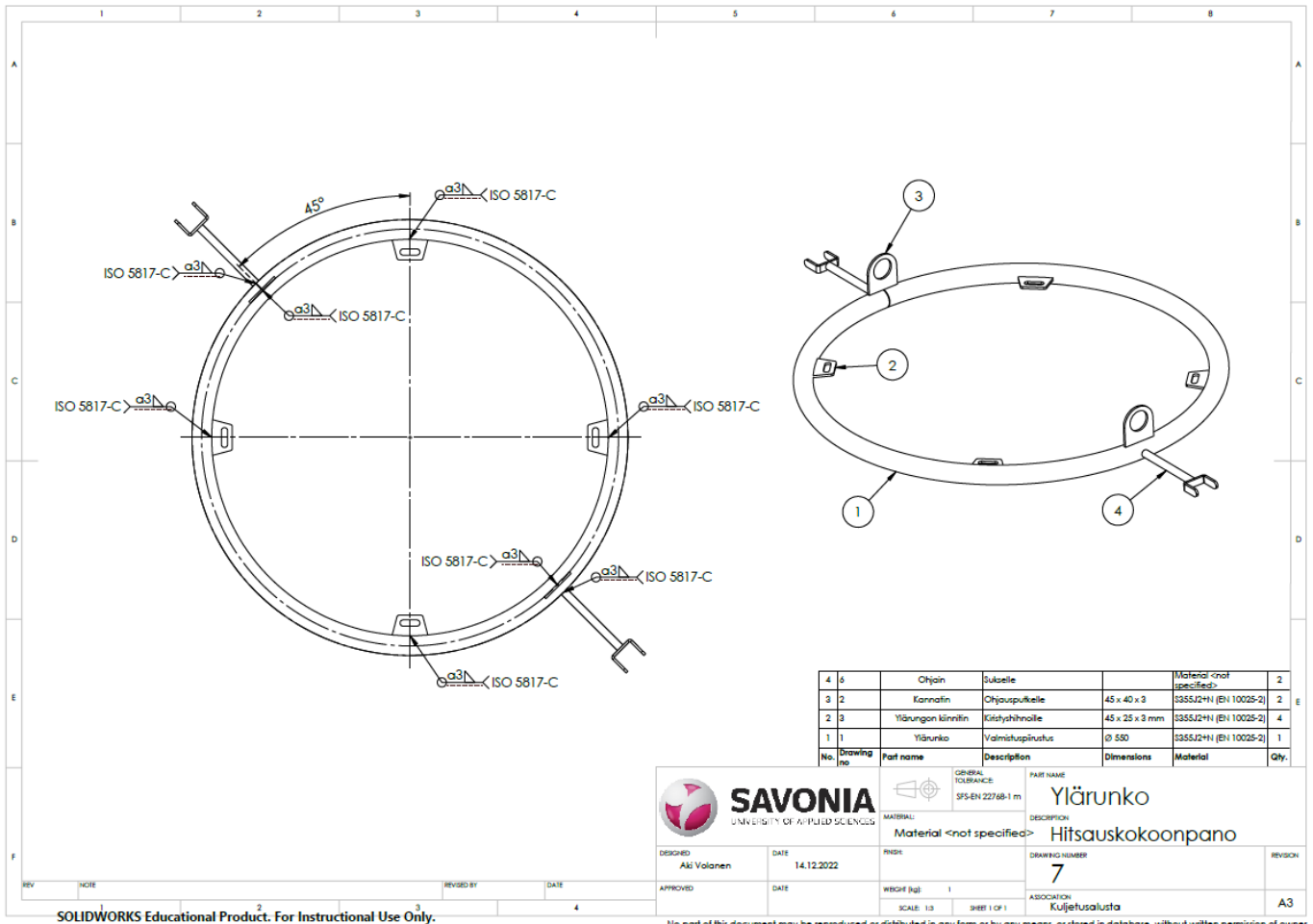
*ImpulseRadar products are under continuous development and we reserve the right to change specifications at any time and without prior notice. You may verify product specifications at any time by contacting our headquarters using the details listed below.*

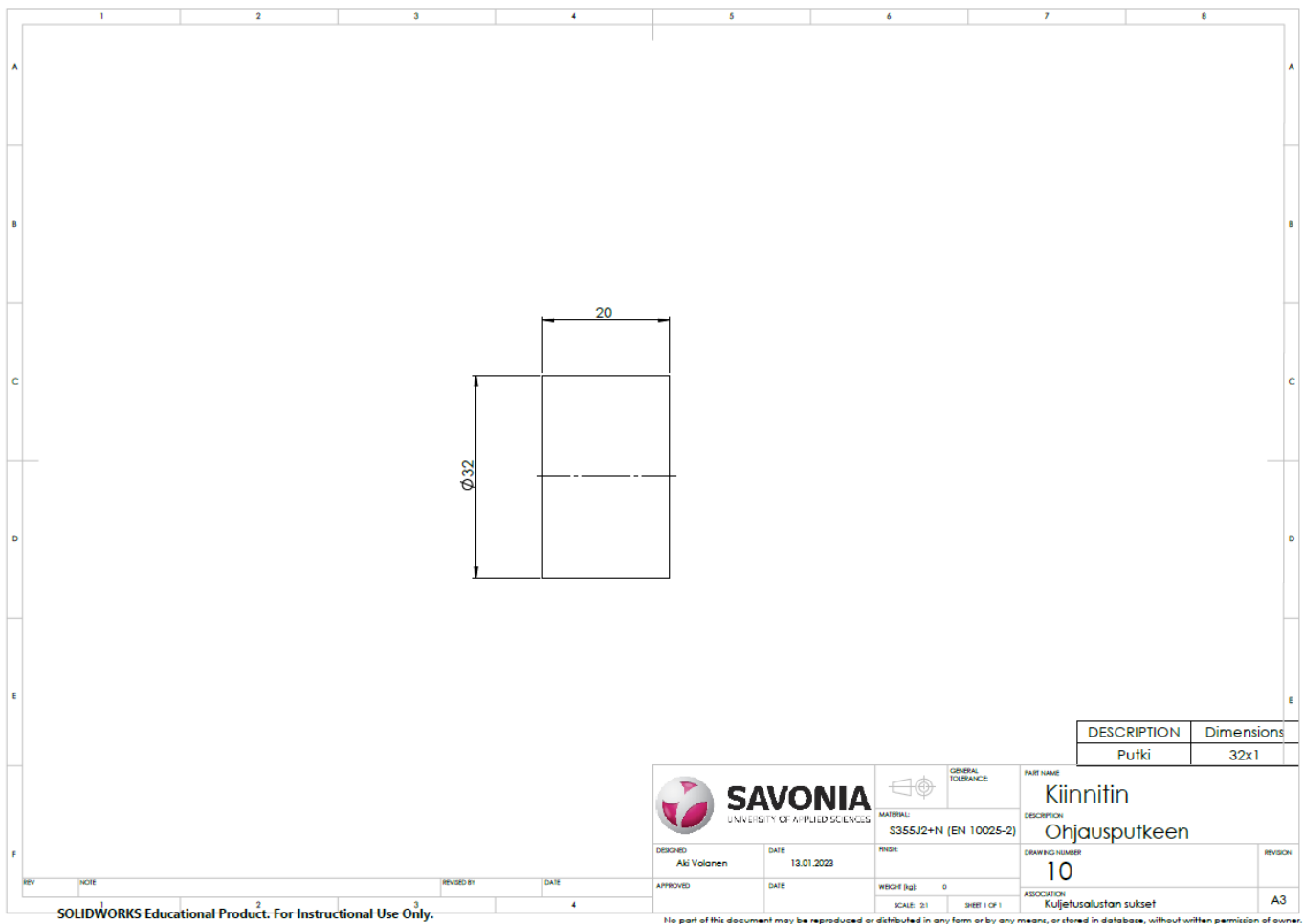
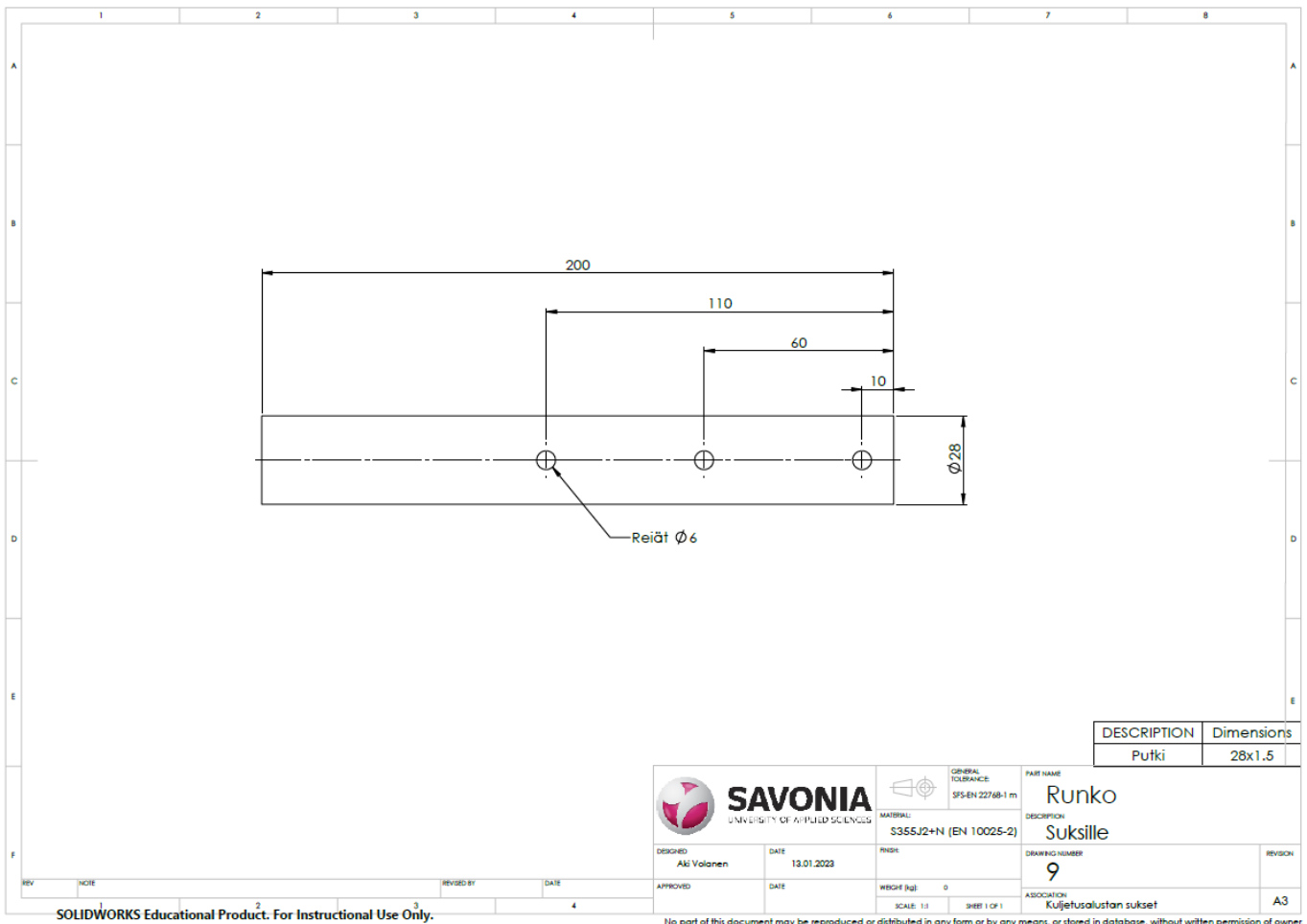
LIITE 3: TYÖNETTÄVÄN KULJETUSALUSTAN PIIRUSTUKSET

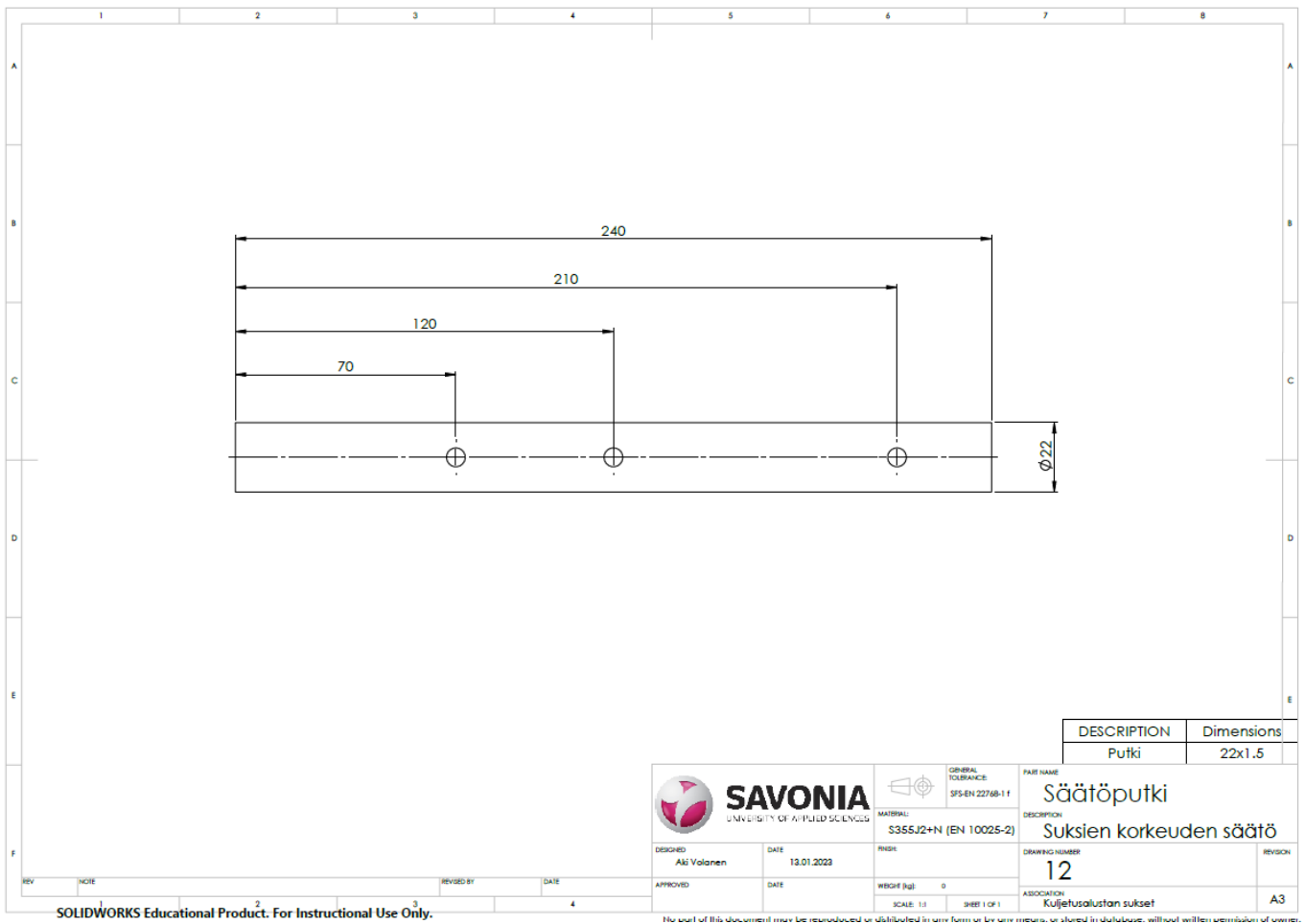
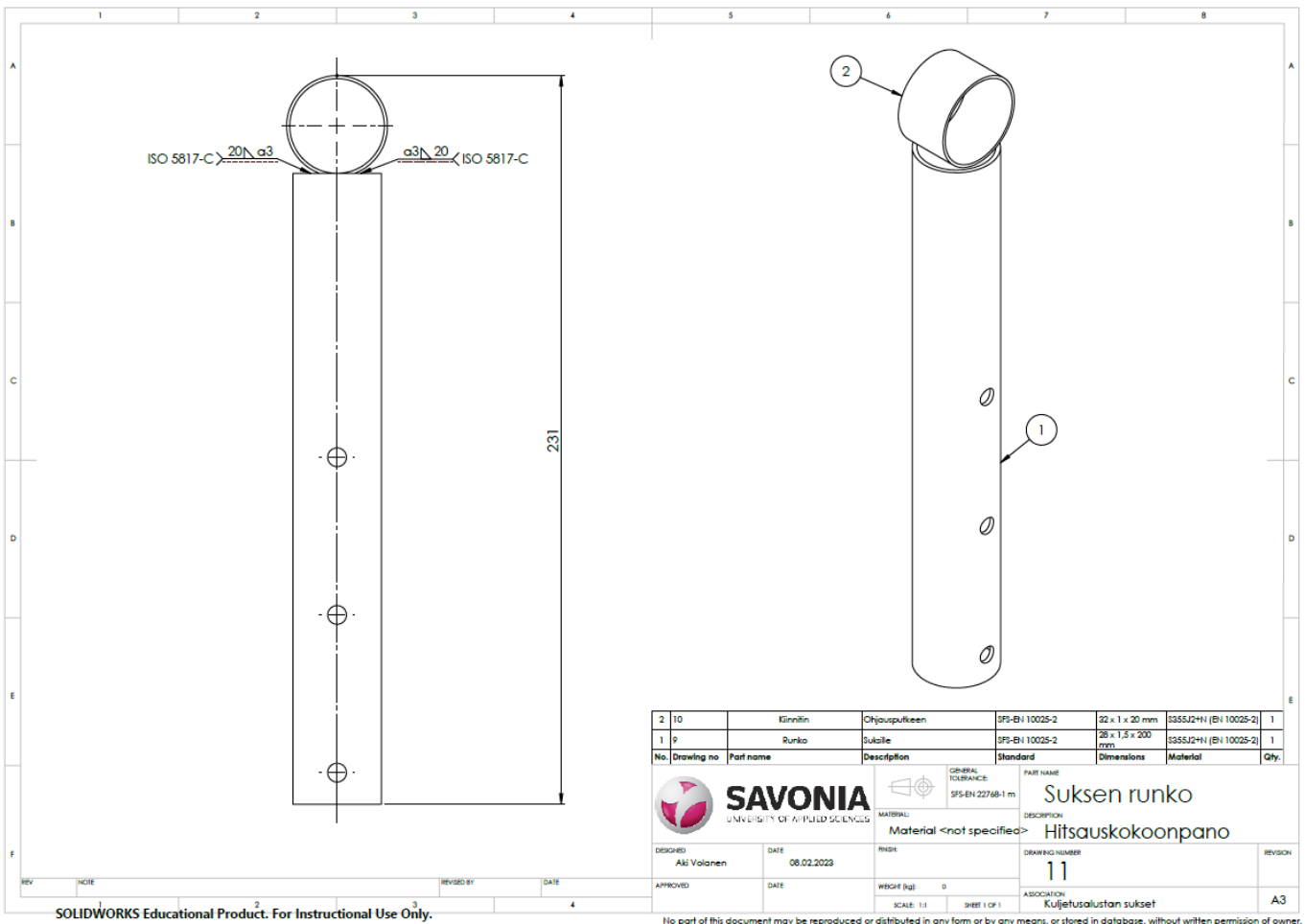


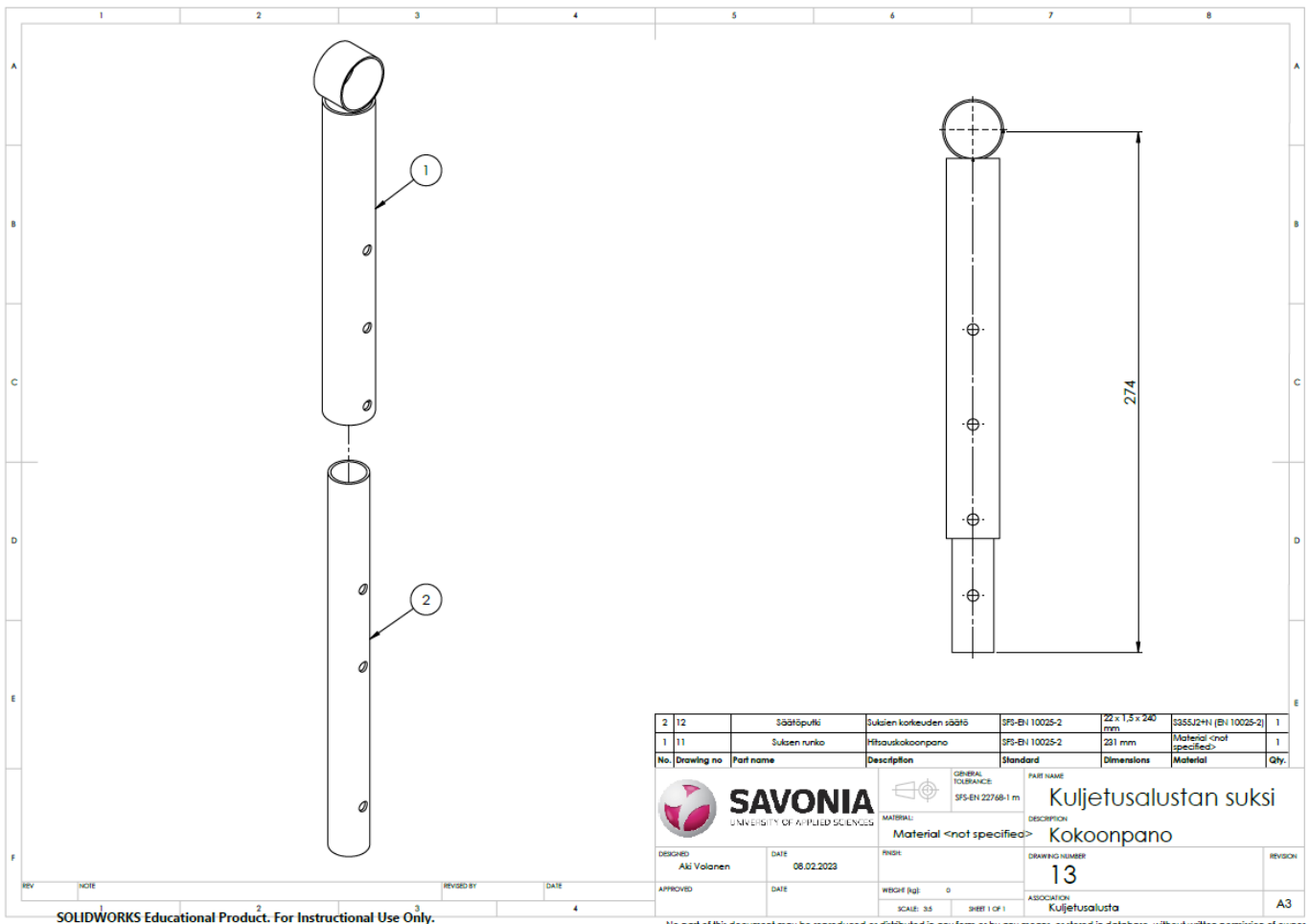






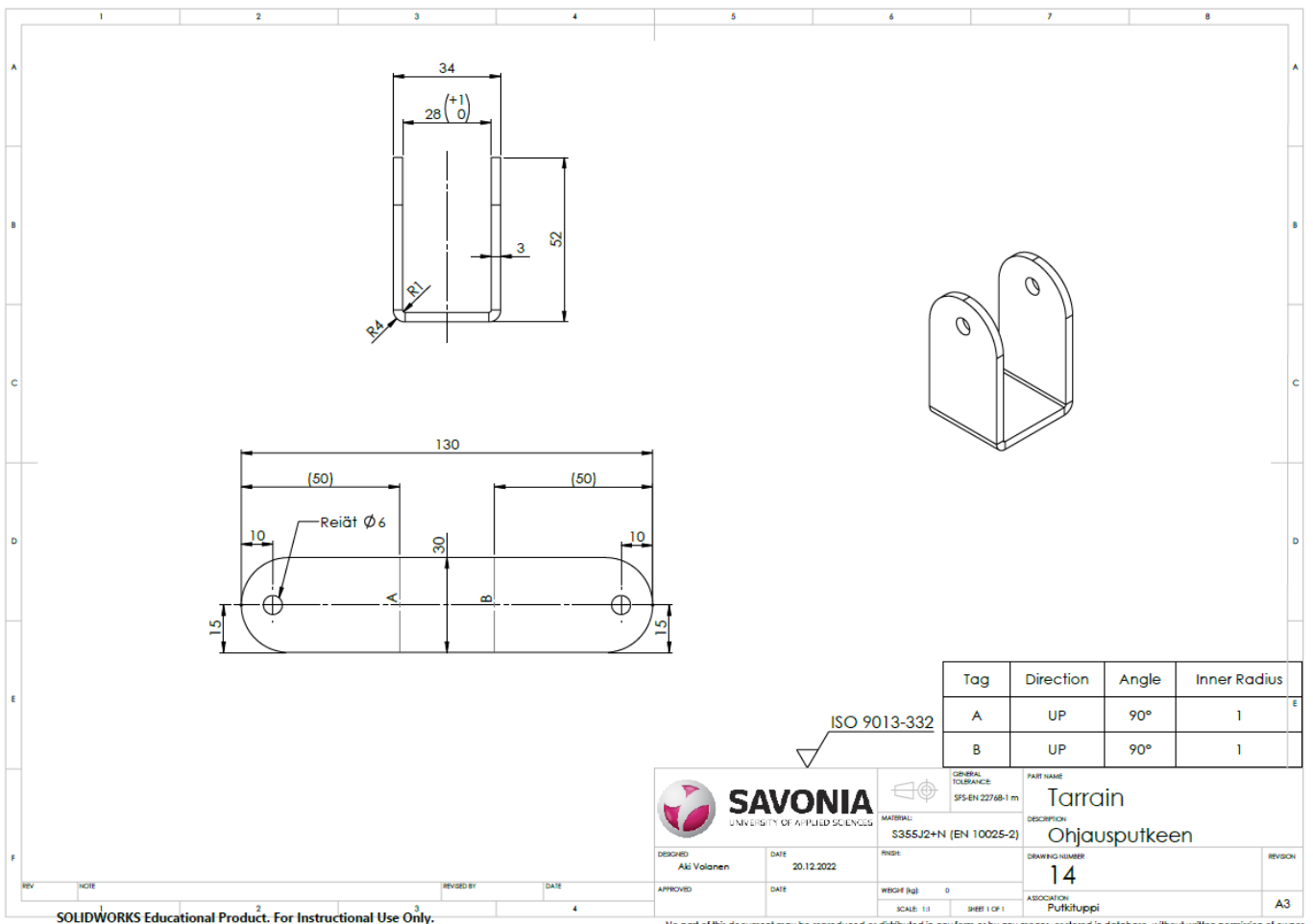






SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

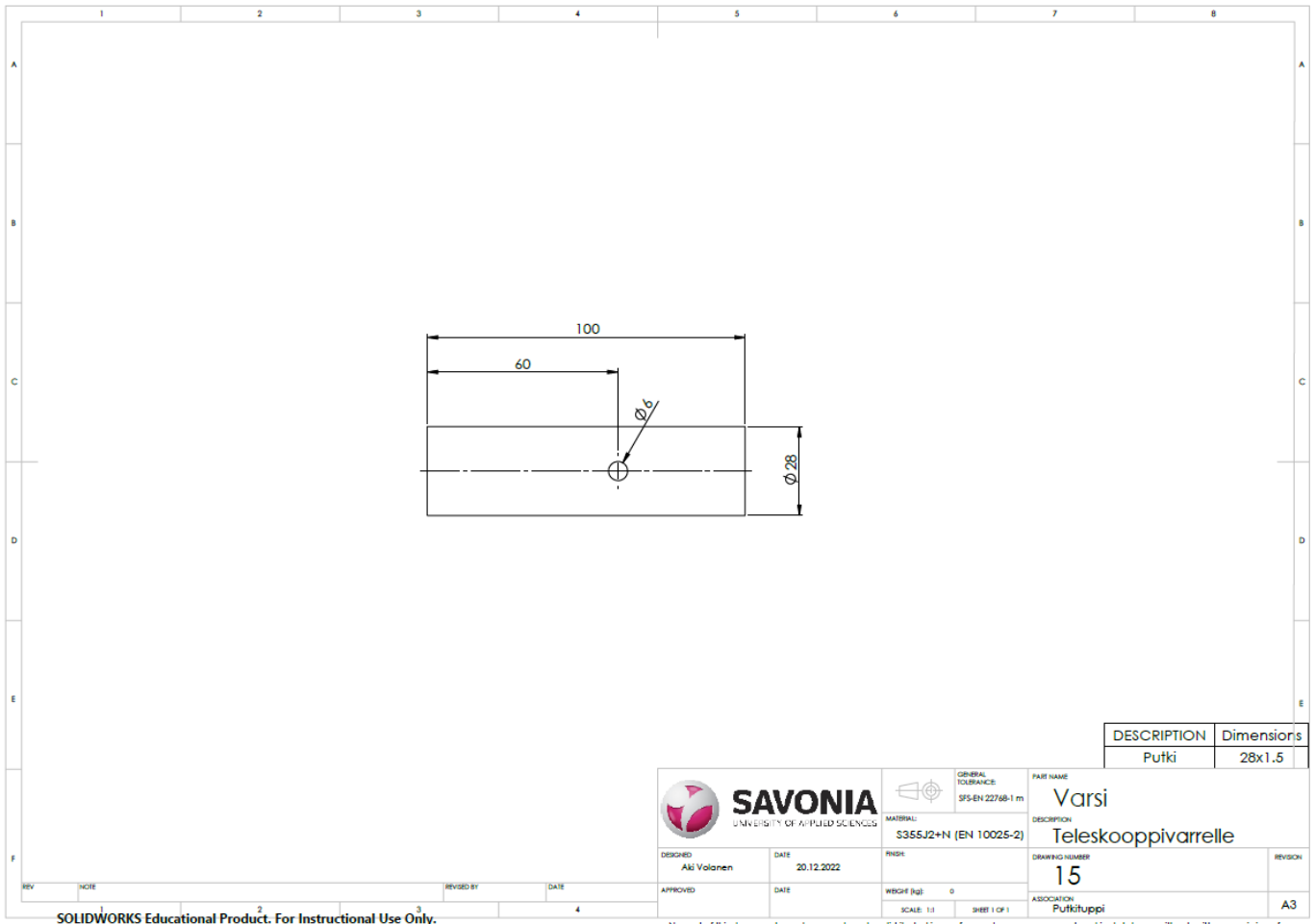
No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

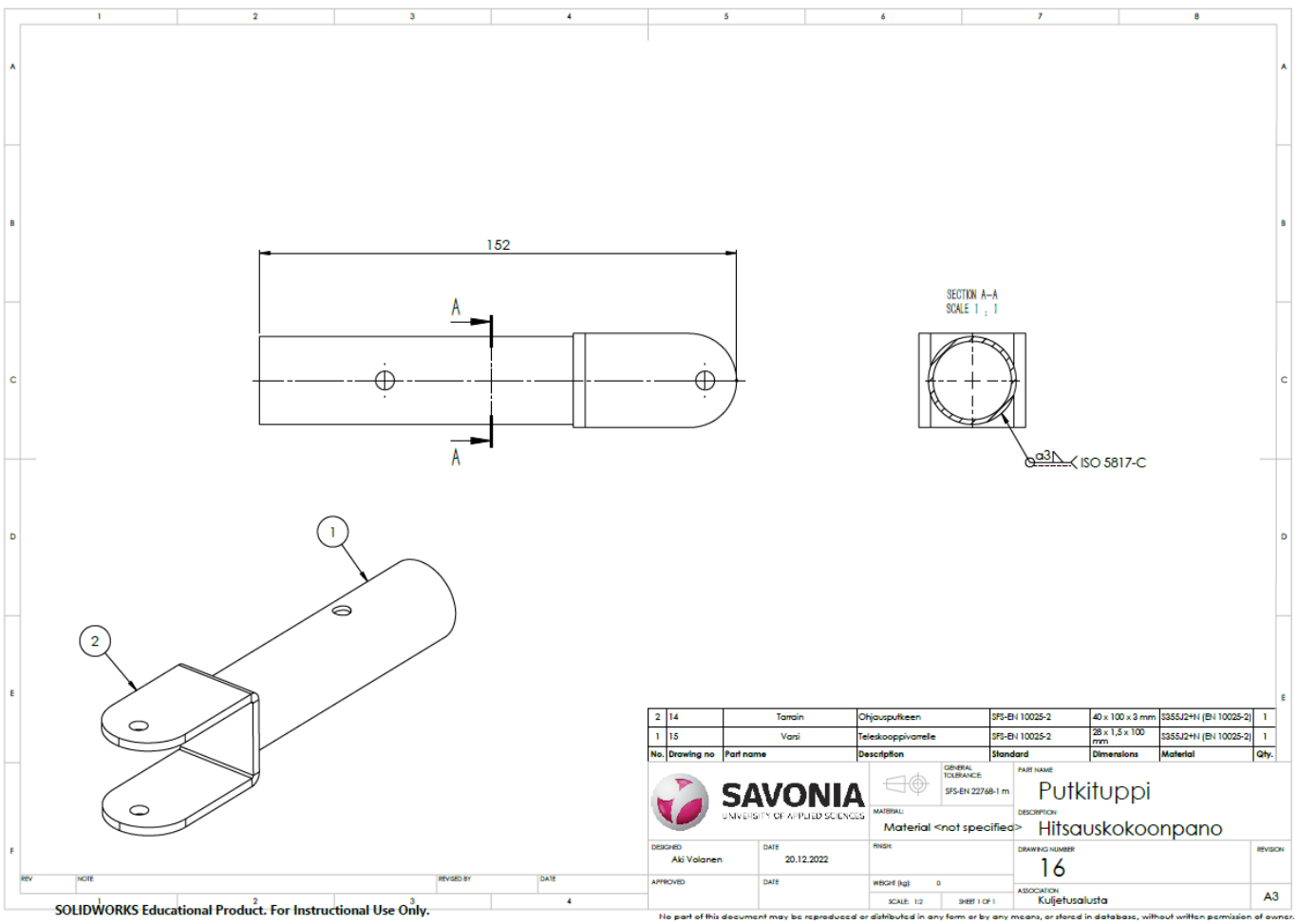
No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.





SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.

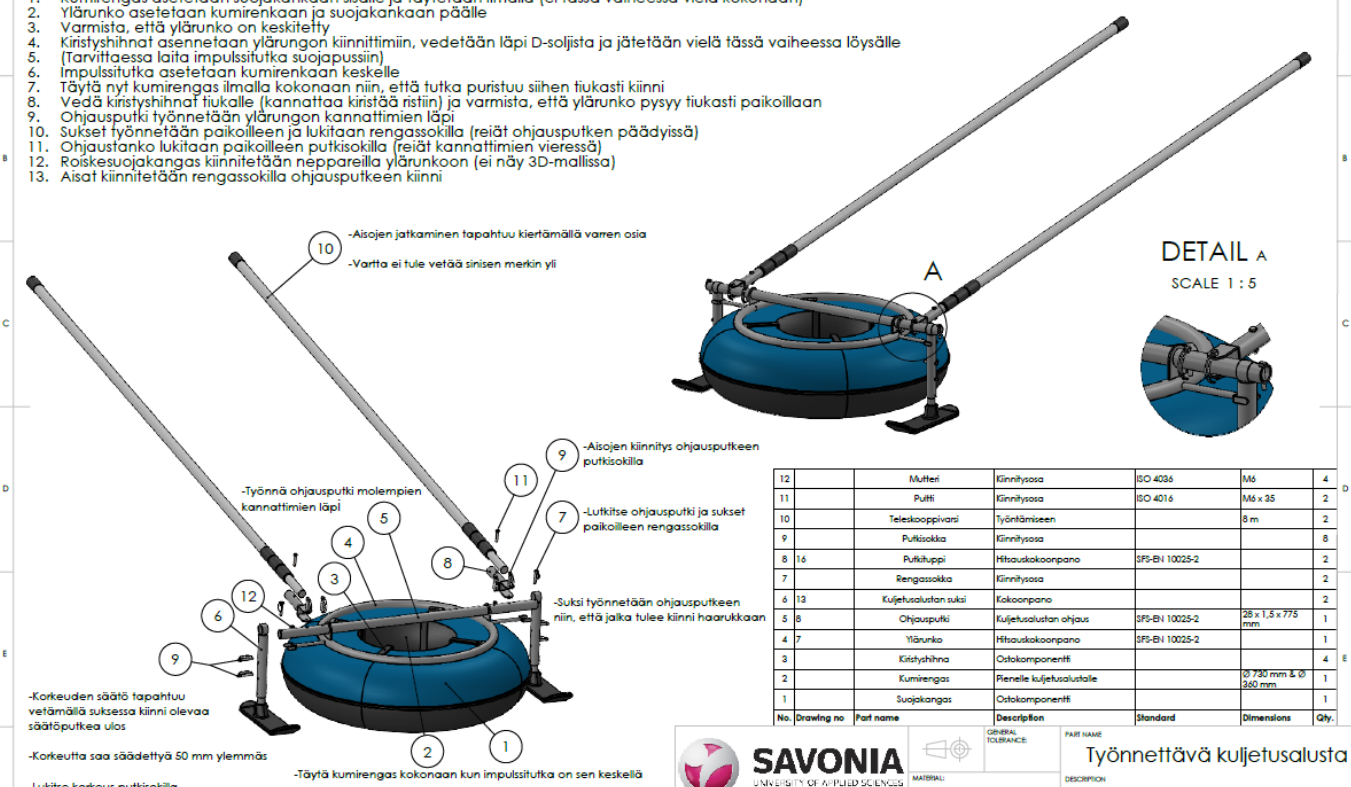


SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.

**Kokoonpano:**

1. Kumirengas asetetaan suojakankaan sisälle ja täytetään ilmalla (ei tässä vaiheessa vielä kokonaan)
2. Ylärunko asetetaan kumirenkaan ja suojakankaan päälle
3. Varmista, että ylärunko on keskitetty
4. Kiristysvihnat asennetaan ylärunnon kiinnittimiin, vedetään läpi D-soljista ja jätetään vielä tässä vaiheessa löysälle
5. (Tarvittaessa laita impulssitutka suojapussiin)
6. Impulssitutka asetetaan kumirenkaan keskelle
7. Täytä nyt kumirengas ilmalla kokonaan niin, että tutka puristuu siihen tiukasti kiinni
8. Vedä kiristysvihnat tiukalle (kannattaa kiristää ristiin) ja varmista, että ylärunko pysyy tiukasti paikoillaan
9. Ohjausputki työnnetään ylärunnon kannattimien läpi
10. Sukset työnnetään paikoilleen ja lukitaan rengassokilla (reiät ohjausputken päädyissä)
11. Ohjaustanko lukitaan paikoilleen putkisokilla (reiät kannattimien vieressä)
12. Roiskeuojakangas kiinnitetään neppareilla ylärunkoon (ei näy 3D-mallissa)
13. Aisat kiinnitetään rengassokilla ohjausputkeen kiinni



**DETAIL A**  
SCALE 1 : 5

No.	Drawing no.	Part name	Description	Standard	Dimensions	Qty.
12		Mutteri	Kiinnitysa	ISO 4034	M5	4
11		Pultti	Kiinnitysa	ISO 4016	M6 x 35	2
10		Teleskooppivarsi	Työntämiseen		8 m	2
9		Putkisokka	Kiinnitysa			8
8	16	Putkikoppi	Htauskokooppa	SFS-EH 10025-2		2
7		Rengassokka	Kiinnitysa			2
6	13	Kuljetusalustan sukki	Kokooppa			2
5	8	Ohjausputki	Kuljetusalustan ohjaus	SFS-EH 10025-2	28 x 1,5 x 775 mm	1
4	7	Ylärunko	Htauskokooppa	SFS-EH 10025-2		1
3		Kiristysvihna	Ostokomponentti			4
2		Kumirengas	Pienelle kuljetusalustalle		Ø 730 mm & Ø 360 mm	1
1		Suojakangas	Ostokomponentti			1

**SAVONIA**  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

DESIGNED: Aki Valanen DATE: 19.03.2023

APPROVED: DATE:

MATERIAL: Material <not specified>

DESCRIPTION: Työnnettävä kuljetusalusta

DRINKING NUMBER: 17

ASSOCIATION: Jään paksuuden mittaus

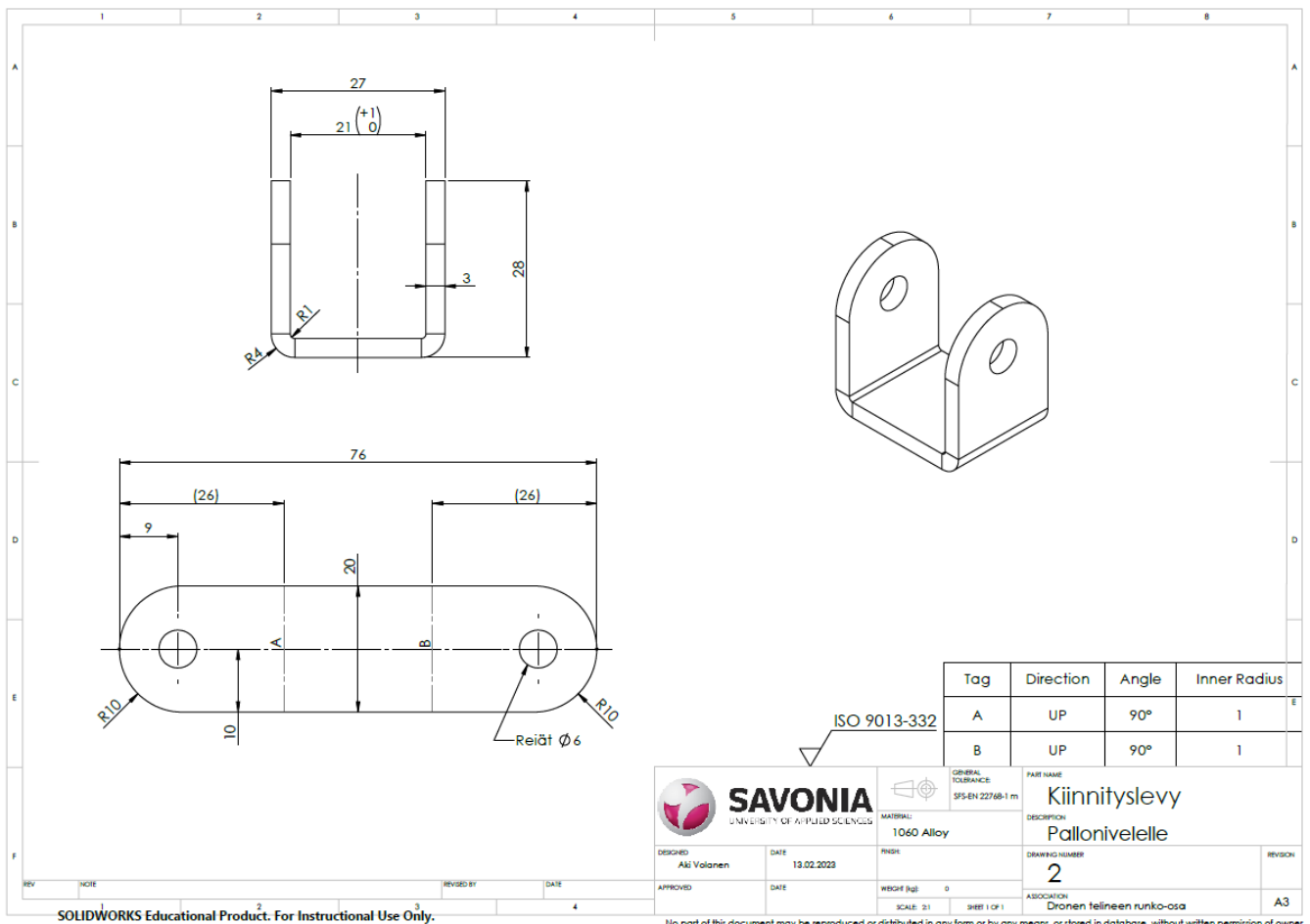
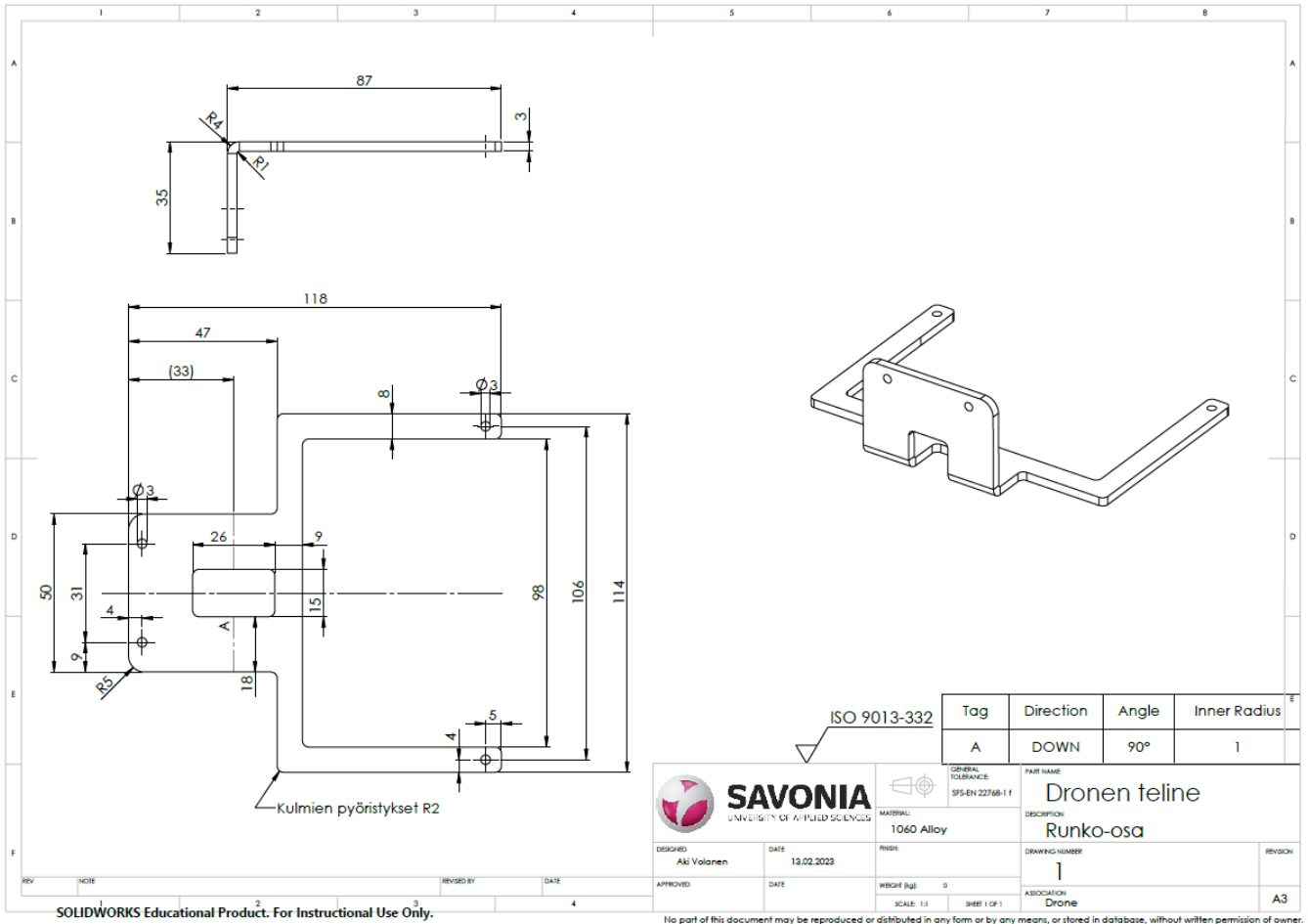
SCALE: 1:10 SHEET 1 OF 1

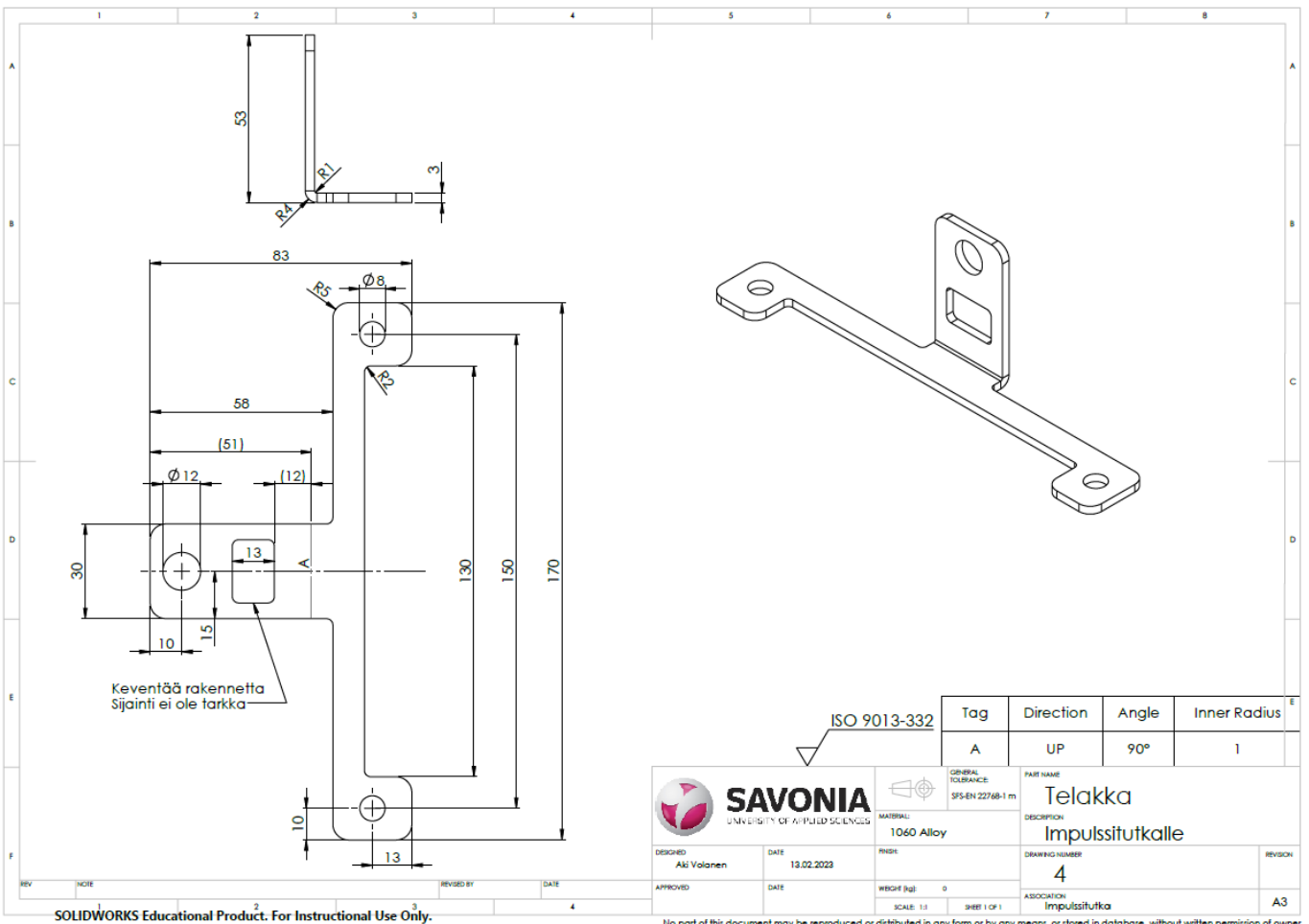
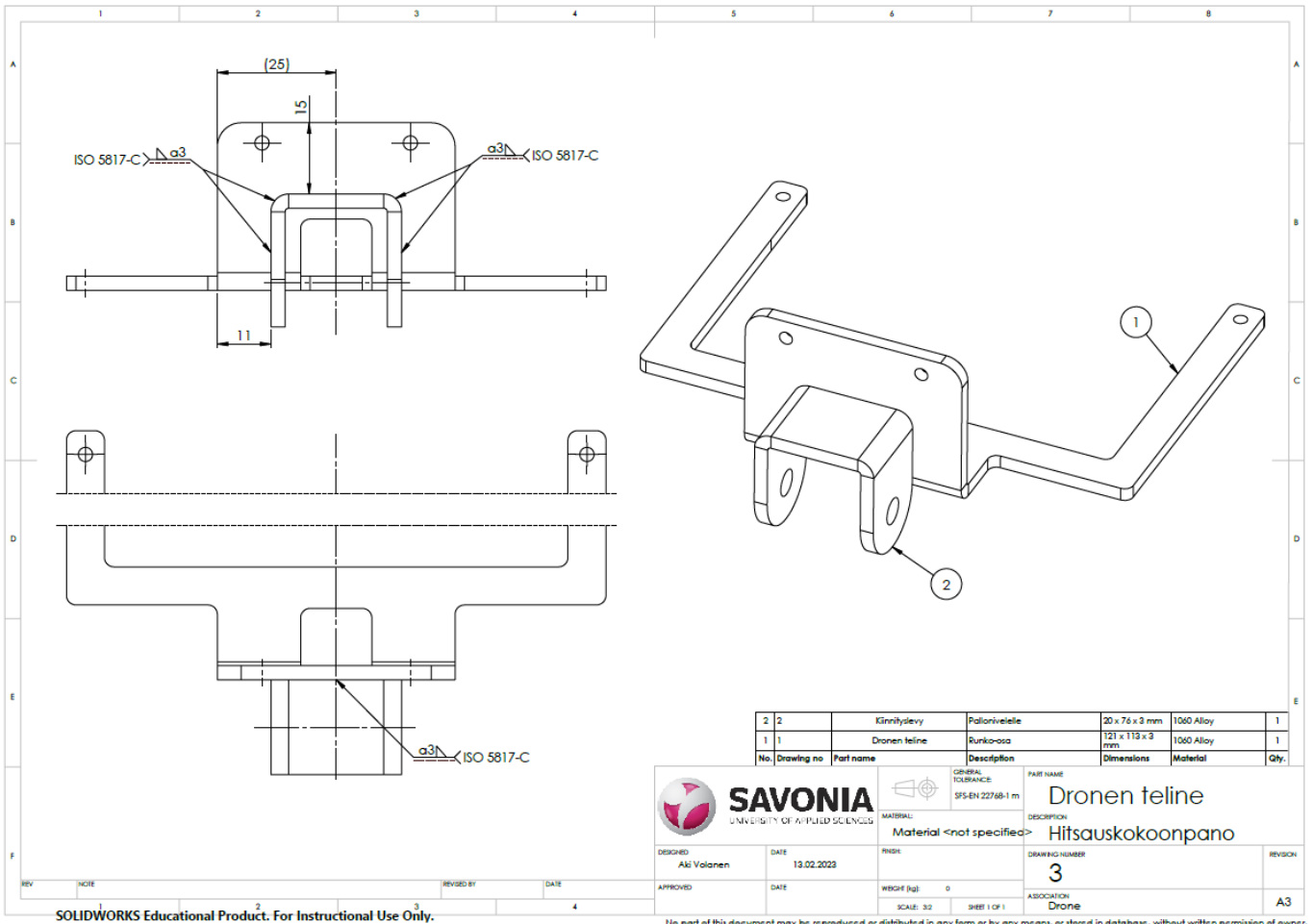
REVISION: A3

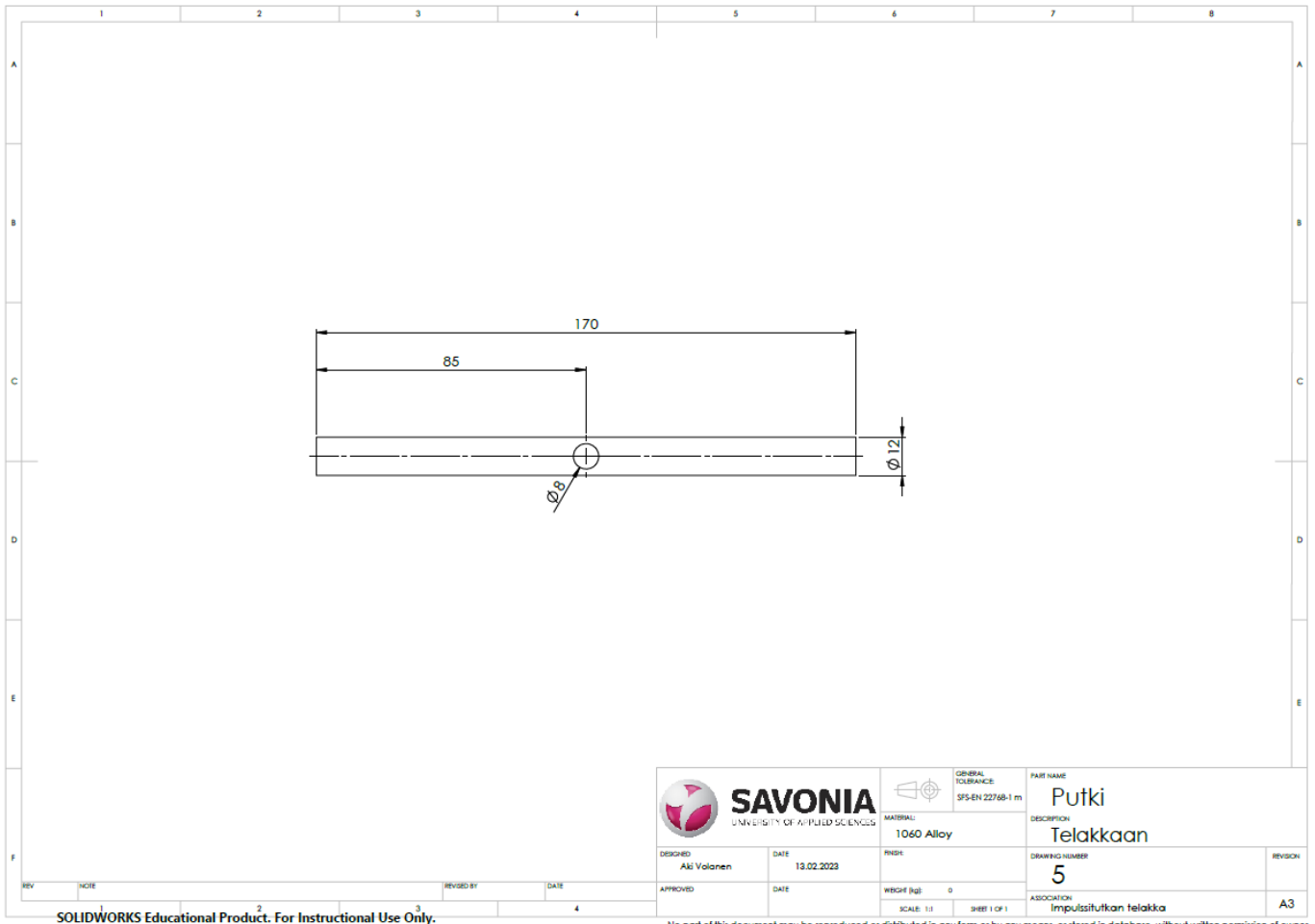
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.

LIITE 4: IMPULSSITUTKAN TELINEEN JA TELAKAN PIIRUSTUKSET

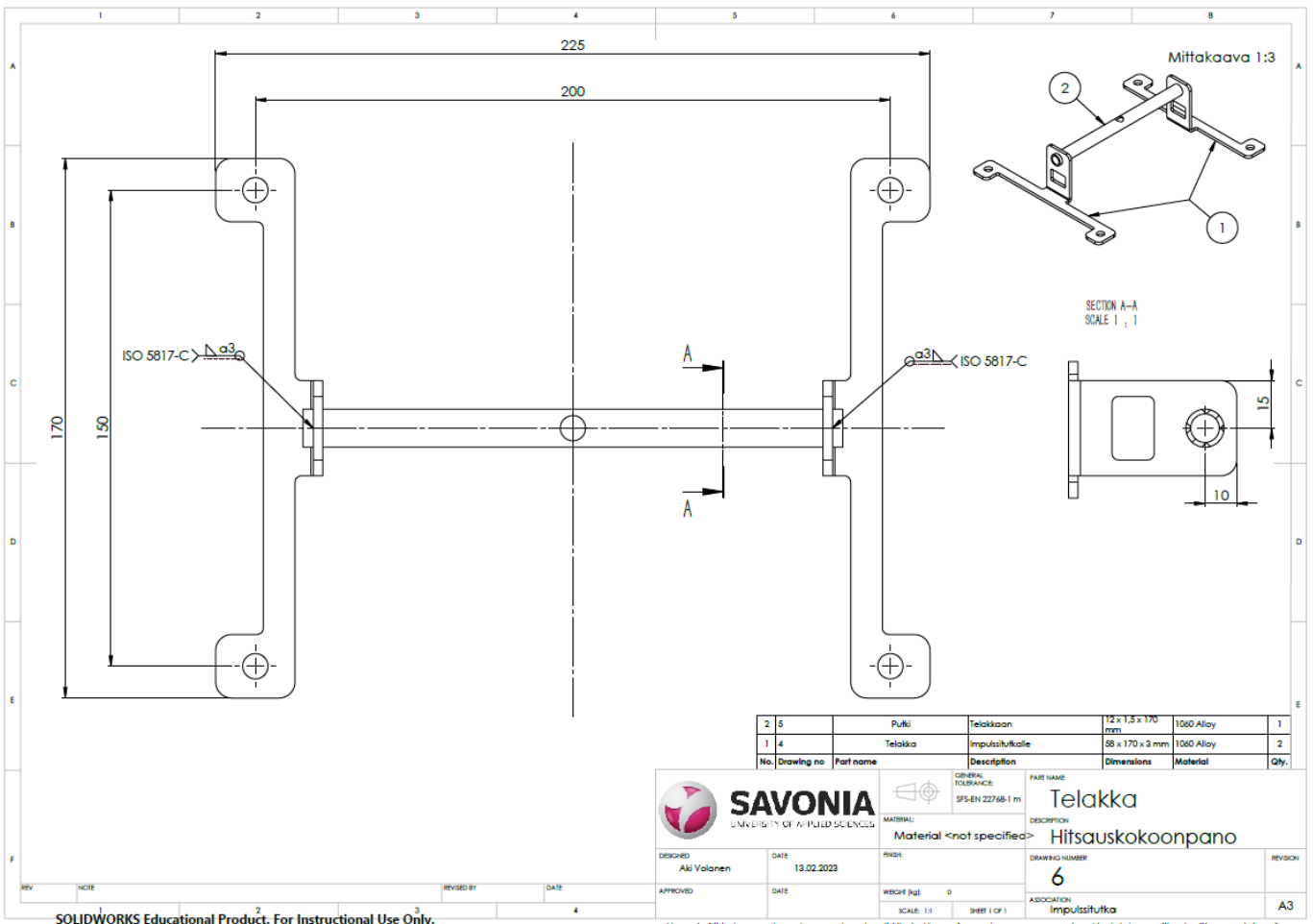






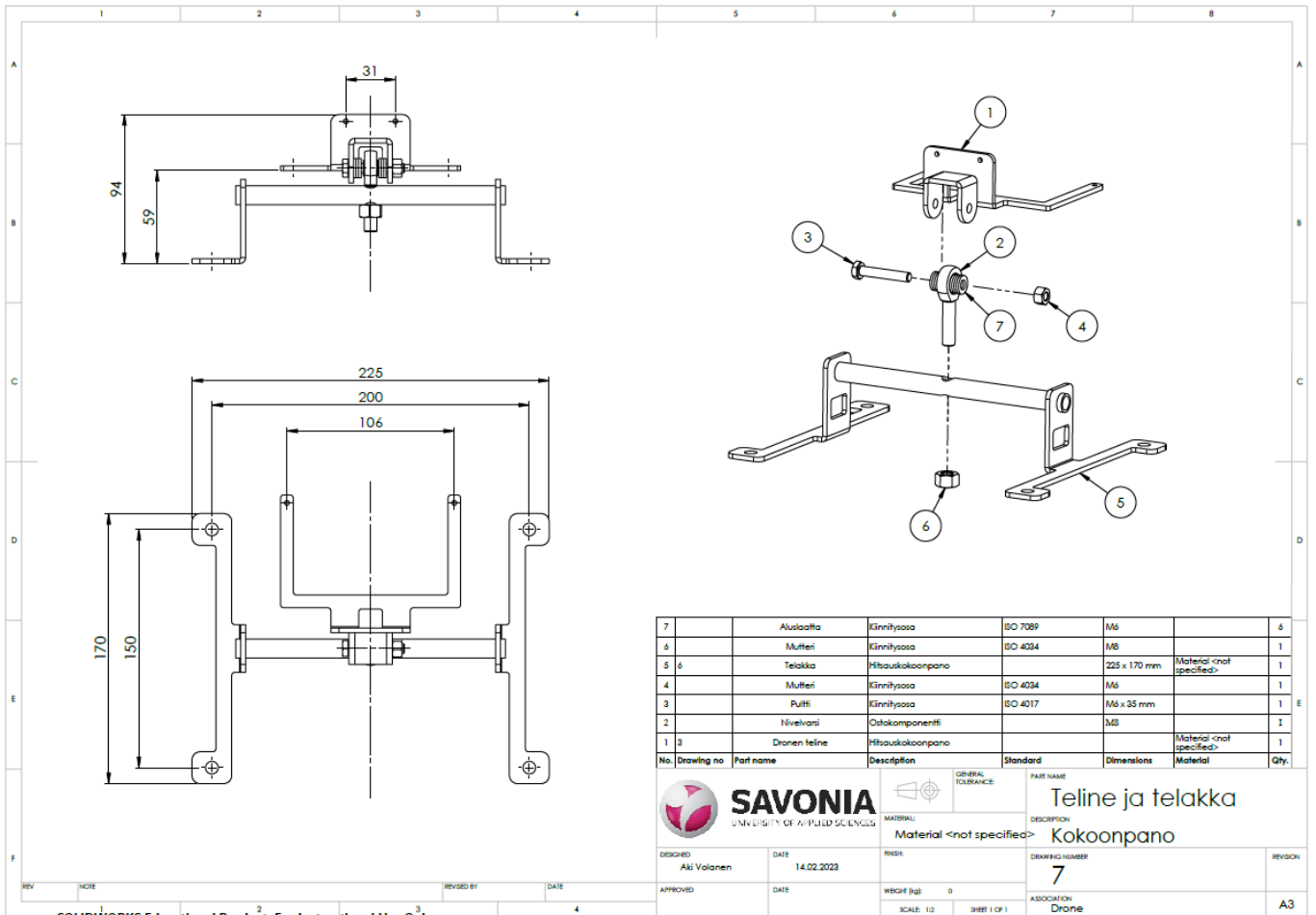
SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.



No.	Drawing no	Part name	Description	Standard	Dimensions	Material	Qty.
7		Aluslaatta	Einrihyassa	ISO 7089	M6		6
6		Mutteri	Einrihyassa	ISO 4034	M6		1
5	6	Telakka	Hitsaukokooppa		225 x 170 mm	Materiali <not specified>	1
4		Mutteri	Einrihyassa	ISO 4034	M6		1
3		Pultti	Einrihyassa	ISO 4017	M6 x 25 mm		1
2		Nivelvari	Otakomponentti		M6		1
1	3	Dronen teline	Hitsaukokooppa			Materiali <not specified>	1

	DESIGNED	Aki Volanen	DATE	14.02.2023	PROJ.			PART NAME <b>Teline ja telakka</b>
	APPROVED		DATE		WEIGHT (kg)	0	MATERIAL: Material <not specified>	DESCRIPTION Kokooppa
				SCALE	1:2	SHEET	1 OF 1	DRAWING NUMBER <b>7</b>
				ASSOCIATION		Drone		REVISION A3

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.