

September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001

NACIONĀLAIS
ATTĪSTĪBAS
PLĀNS 2020



EIROPAS SAVIENĪBA

Eiropas Jūrlietu un
zivsaimniecības fonds



Elektronikas un
telekomunikāciju fakultāte

Rīgas Tehniskās universitātes
Elektronikas un telekomunikācijas fakultātes
Radioelektronikas institūta
projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas
ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-
000001

Atskaite par projekta uzdevumiem 1.1. - 1.5.

2020

Satura radītājs

1. DP1 Jauno konstruktīvo un tehnisko elementu izstrāde un realizācija. AP1.1. Atskaite un tehniskā dokumentācija ar risinājumiem, testēšanas rezultātu datiem	3
1.1. U 1.1. Akumulatora un elektronikas nodaļas izstrāde	3
1.2. U1.2. Bezvadu akustiskā signāla vai elektriskās enerģijas pārraides sistēmas izstrāde	15
Bezvadu enerģijas sistēmas pārvades bezvadu komunikācijas sistēma	27
1.3. U1.3. Modulārā korpusa izstrāde akumulatoru blokam	32
1.4. U1.3. Modulārā korpusa izstrāde	35
1.5. U1.4. Šaurjoslas zemūdens akustiskā raidītāja integrēšana sistēmā	37
Zemūdens akustisko raidītāju testēšanas dati	39
1.6. U1.5. Sistēmas komponentu salikšana un testēšana	42
1.7. Signālu ģenerators.....	42

1. DP1 Jauno konstruktīvo un tehnisko elementu izstrāde un realizācija. AP1.1. Atskaite un tehniskā dokumentācija ar risinājumiem, testēšanas rezultātu datiem

Dotās darba pakas ietvaros tiek veikta zemūdens akustiskā raidītāja jauno konstruktīvo risinājumu izstrāde, realizācija un apvienošana vienotā sistēmā, kas ir gatava testēšanai jūras apstākļos. Dotās darba pakas ietvaros tiek paredzēta arī kompleksās sistēmas funkcionalitātes testēšanas laboratorijas apstākļos.

Tiks izstrādāta akumulatora un elektronikas nodaļa, bezvadu akustiskā signāla vai elektriskās enerģijas pārraides sistēma, modulārs iekārtas korpusa konstruktīvs risinājums, iebūvēts un notestēts jaunā tipa šaurjoslas zemūdens akustisks raidītājs.

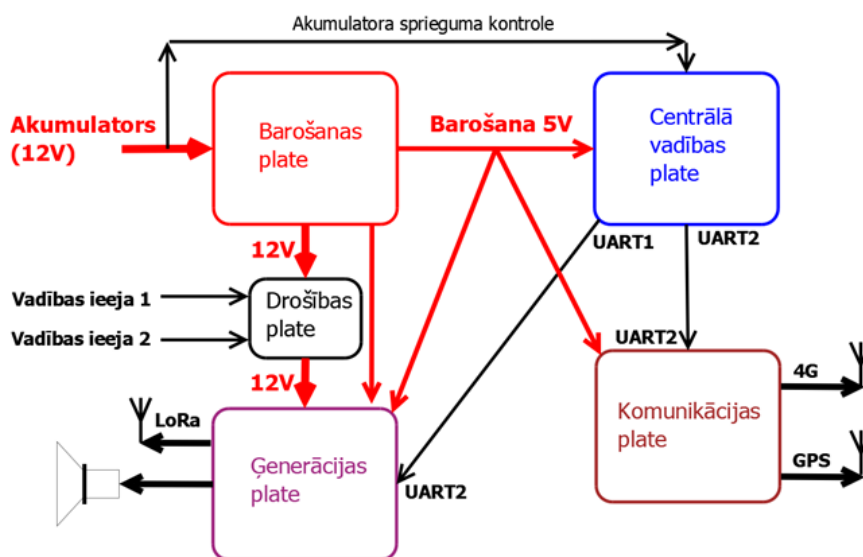
1.1. U 1.1. Akumulatora un elektronikas nodaļas izstrāde

Dotā darba uzdevuma ietvaros tiek izstrādāta akumulatora un elektronikas nodaļa, kas ļaus veikt ērtu un drošu akumulatora maiņu jūrā bez nepieciešamības veikt visas sistēmas nogādāšanu krastā un darbības apstādināšanu uz akumulatora uzlādes laiku.

Izstrāde iekļauj sevī mehāniskās daļas un elektroniskās daļas realizāciju vienotā mobilajā modulī.

Elektroniskās plates apraksts

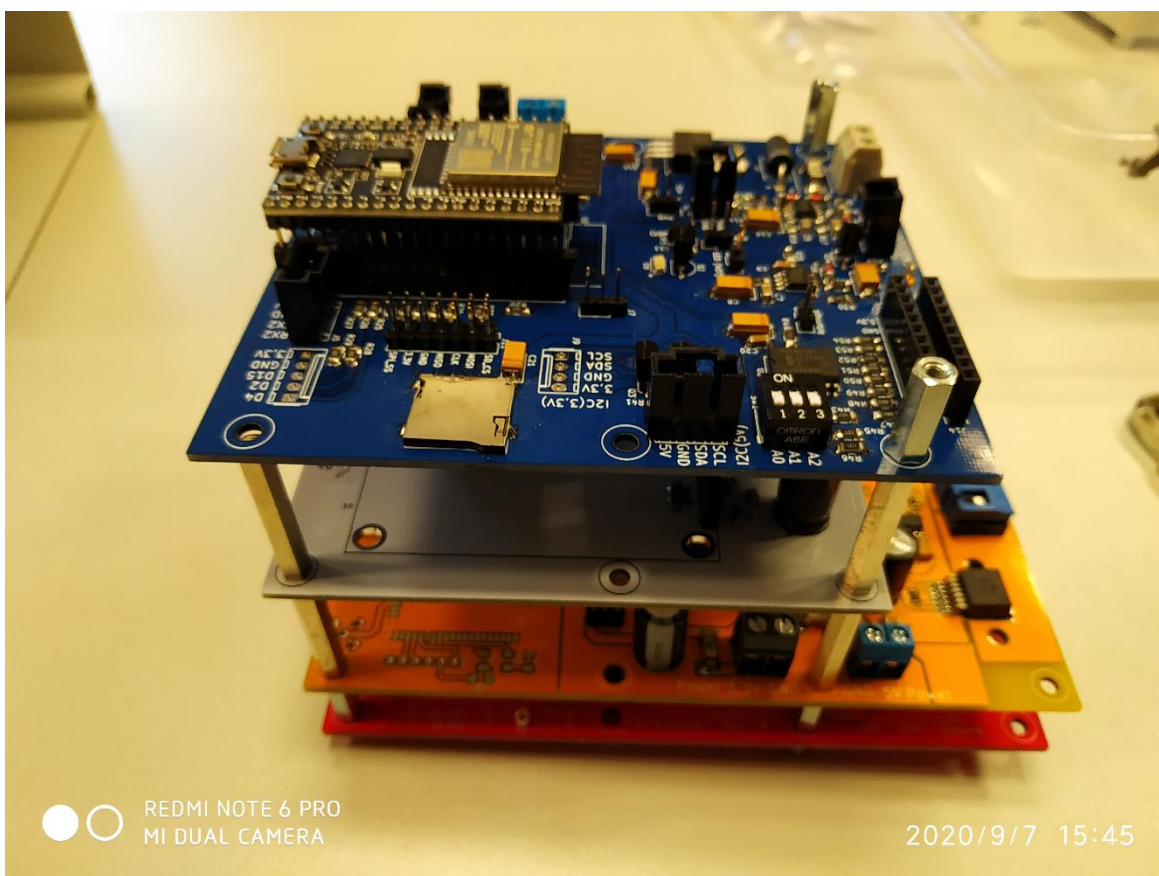
Pilnā komplektācijā bojas elektronikas blokā ir pieci moduli.



Att.1.1. Bojas elektronikas bloka struktūras shēma

September 1, 2020

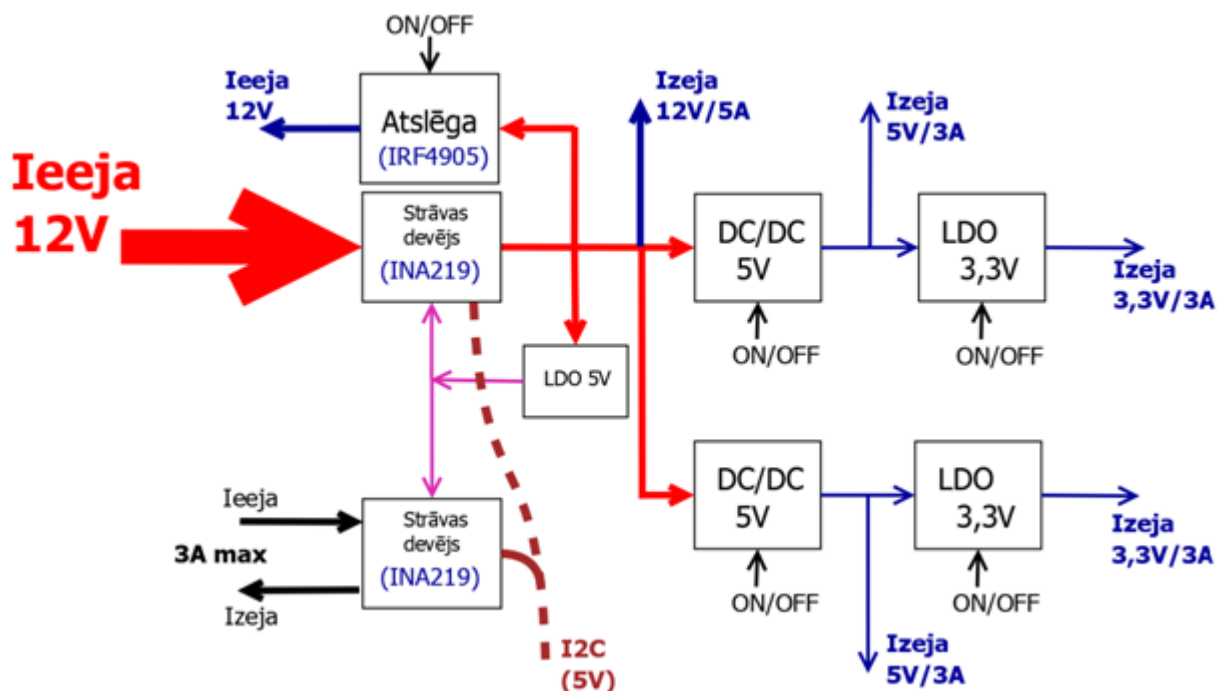
Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



Zemāk tiks dots katra moduļa īss apraksts.

Barošanas moduļa plate.

Plate ir orientēta visas elektronikas intelektuālai barošanai. Ir kopēja sprieguma 12V ieeja, pie kuras tika pieslēgts akumulators. Līdz ar to drošinātājs F2 (sk. pielikumu 1) ierobežo strāvu visā sistēmā. Ir iespēja pieslēgt arī citu 12V patērētāju un vienlaicīgi zināt tās strāvu (spraudnis J1). Strāvas ierobežošana 12V izejā notiek ar drošinātāja F1 palīdzību.



Att.1.2. Barošanas moduļa plates struktūras shēma

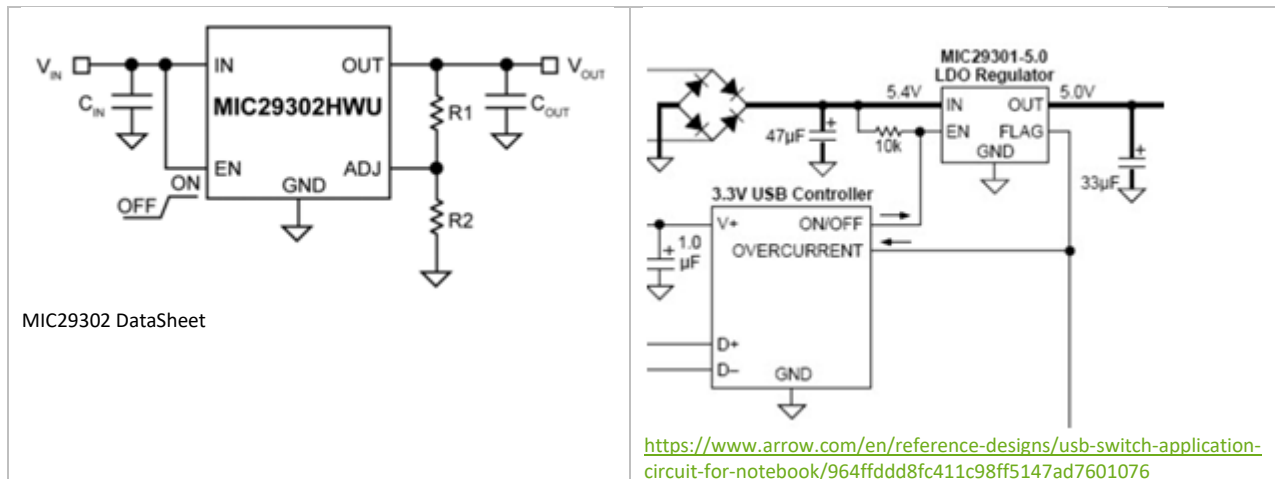
Platē ir divi strāvas devēji uz mikroshēmas INA219 bāzes: SD1 mēra strāvu visā sistēmā; SD2 ir neatkarīgais mērītājs, pie kura var pieslēgt jebkuru patērētāju. Datus abiem devējiem var nolasīt izmantojot kopēju kopni I²C (5V līmeni, spraudnis J3). Lai būtu iespēja atdalīt vienu ierīci no otras tika izmantoti DIP-slēdži adreses izvēlei. Mikroshēmā var izmantot 16 adreses, bet plates shēma tika adaptēta četriem.

A1	A0	Slave address	
		BIN	HEX
GND	GND	1 000 000	0x40
GND	V _{S+}	1 000 001	0x41
V _{S+}	GND	1 000 100	0x44
V _{S+}	V _{S+}	1 000 101	0x45

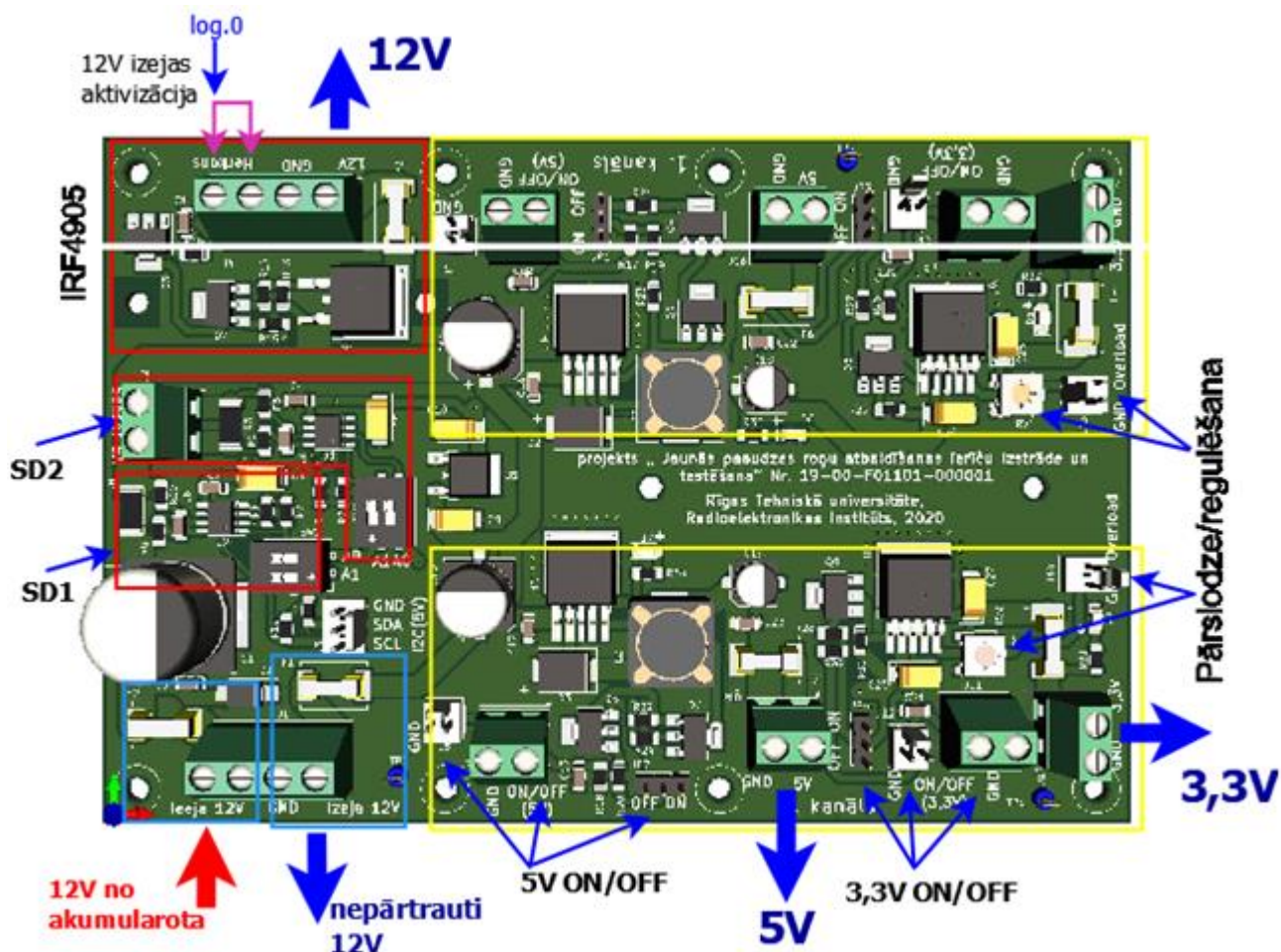
Ir vēl viena 12V izeja, kur slodzi var komutēt ar tranzistora IRF4905 palīdzību. Izejas aktivizācijai ir nepieciešams īsi savienot kontaktu „Herkons” ar „GND”, jeb pieslēgt loģisko „0” no vadības plates. Strāva šeit arī tiks mērīta ar SD1.

Platē ir divi neatkarīgie līdzsprieguma stabilizēšanas kanāli. Sakumā 12V tiek pārveidoti uz 5V ar impulsu pārveidotāju uz mikroshēmas LM2596 bāzes. Pēc tam izmantojot LDO mikroshēmu MIC29301 spriegums tiek pazemināts līdz 3,3V. Katra sprieguma izeja tiek pasargāta ar drošinātāju. Ir iespēja izslēgt izejas spriegumu pieslēdzot loģisko „1” pie „ON/OFF” kontaktiem (sk. Att.1.4.). Katram stabilizatoram ir trīs vadības spraudni. Piemēram, 2. kanālam 5V aktivēšanai/deaktivēšanai var izmantot: tiltslēgu JP2, skrūvju kontaktus J7 un spraudni J8.

3,3V stabilizatoram var izmantot gan MIC29302, gan MIC29301. Pirmā gadījumā izejas spriegumu var regulēt - ir nepieciešams pielodēt pieskaņošanas rezistorus RV1 un RV2. Spraudņus J13 un J14 var izmantot elektroniskai regulēšanai. Otrā gadījumā sprieguma līmenis ir fiksēts, bet mikroshēma ir spējīga dot signālu par pārslodzi. Šīs funkcijas izmantošanai ir nepieciešams pieskaņošanas rezistoru vietā pielodēt pastāvīgus ar pretestību 10k Ω . Savienojot mikroshēmas 5. un 6. kontaktus. Tad spraudņos J13 un J14 normālā režīmā būs loģiskais „1”, bet pārslodzes gadījumā loģiskā „0”.



Att.1.3. Stabilizatora MIC2930x sērijas izmantošanas varianti

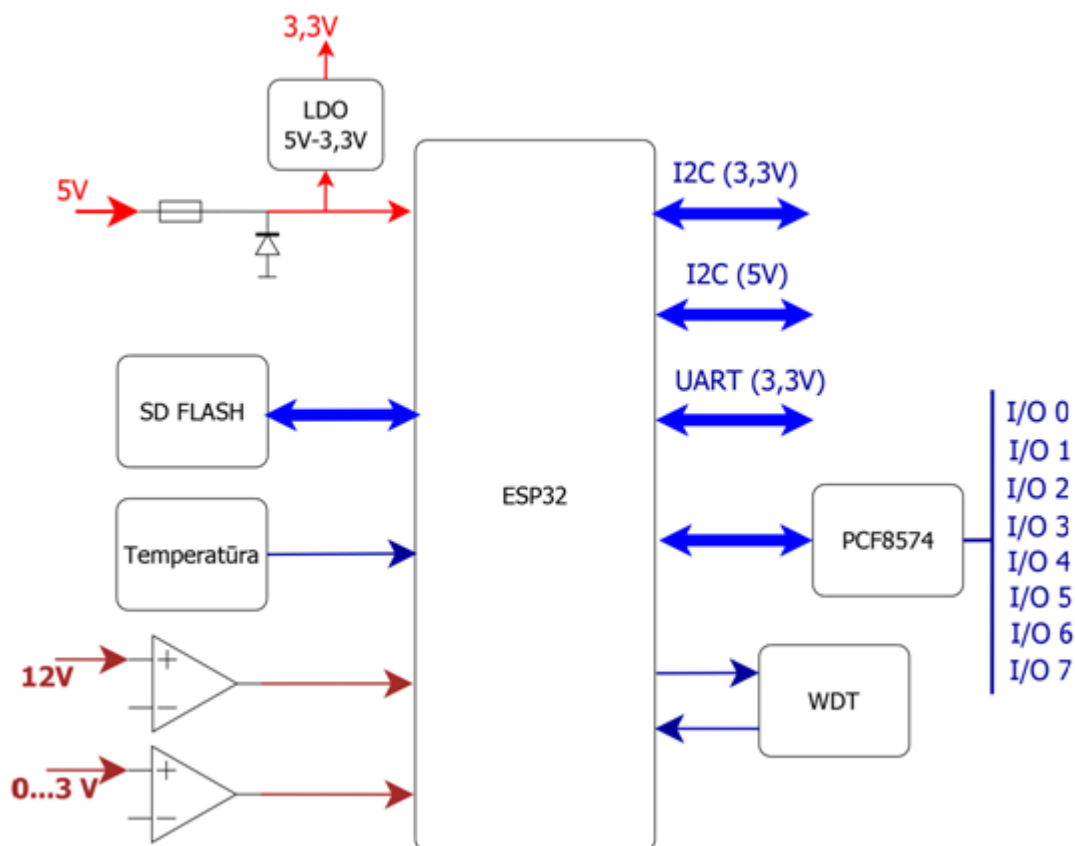


Att.1.4. Barošanas plates mezgla izkārtojums

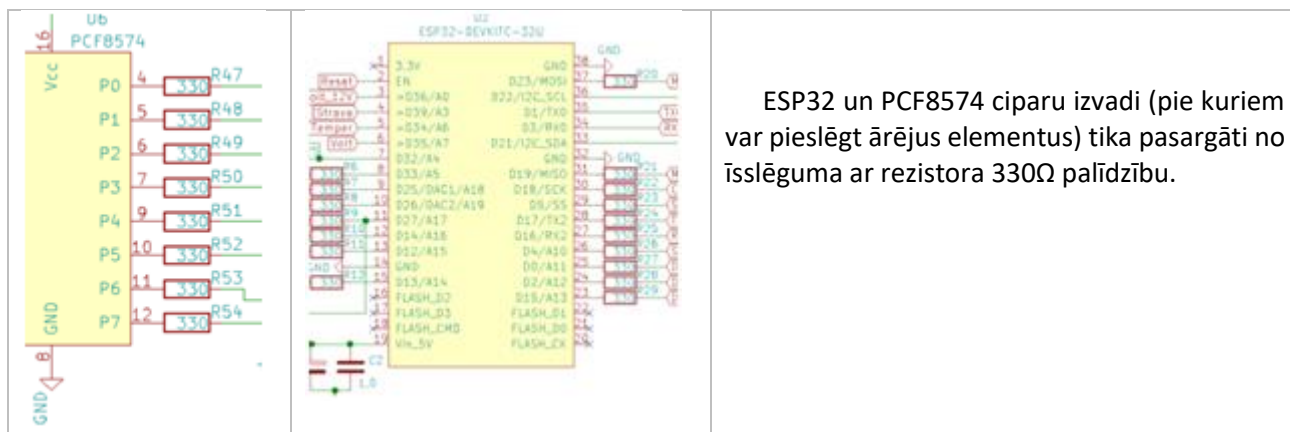
Stabilizators LDO 5V (mikroskāma U3) nodrošina barošanu tikai plates elektronikai.

Centrālā vadības moduļa plate.

Moduļa kods ir ESP32. Plates sastāvā ir SD kartes turētājs, temperatūras devējs, WDT (watch dog timer), operacionāls pastiprinātājs analoģo spriegumu mērīšanai un ciparu izeju/ieju paplašinātājs.

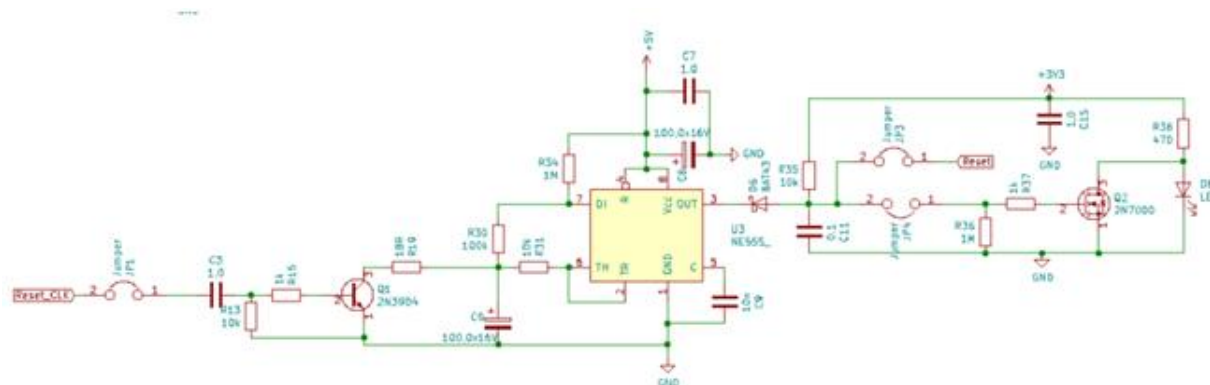


Plates barošana notiek ar ārējo spriegumu 5V. Šis spriegums baro mikrokontroliera moduli (iebūvēts 3,3V stabilizators) un taimeris NE555 (WDT). Pārējiem patērētājiem plates shēmā ir LDO stabilizators uz mikroshēmas LM1085-3.3 bāzes.



Lai palielinātu sistēmas darbības stabilitāti tika izmantota pārraugtaimera (WDT – Watch Dog Timer) ārēja shēma uz NE555 bāzēs. <https://flprog.ru/uchebnyj-centr/articles/prochie-uroki/storozhevoj-timer-dlja>

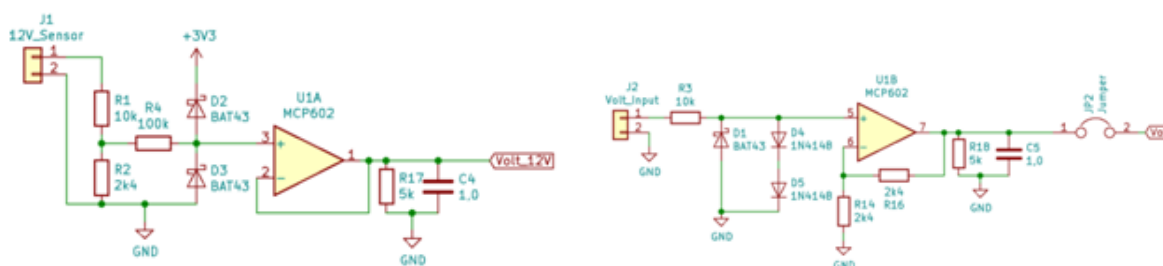
[avtomaticheskogo-perezapuska-mikrokontrollera/](#) Taimera gaidīšanas intervāls tieši proporcionāls elementiem R34, R30 un C6. Restartēšanas intervāls tieši proporcionāls rezistora R31 pretestībai.



Att.1.6. WDT principiālā shēma

Ir iespēja pārtraukt WDT darbību uz mikrokontrolieru izņemot tiltslēgu JP3 (uz plates uzraksts „Reset(WDT)”). Par restartēšanas procedūru sākšanu signalizē gaismas diode D8. To var izslēgt ar tiltslēgu JP4 (uz plates uzraksts „LED (WDT)”). Un, ja WDT netiks izmantots, var atbrīvot mikrokontroliera D32 kontaktu izņemot tiltslēgu JP1 (uz plates uzraksts „CLK (WDT)”).

ESP32 piedāvā ļoti daudz kontaktu analogo signāla mērīšanai. Bet platē tika izveidotas divas analogas ieejas ar buferi no operacionālā pastiprinātāja. Pirmā ieeja tika atvēlēta akumulatora sprieguma mērīšanai (12V). Dalītājs R1,R2 samazina spriegumu līdz, apmēram, 3V. Katram gadījumam diodes D2,D3 pasargās mikroshēmas ieeju no pārsprieguma. Otrā ieeja tika atvēlēta maza sprieguma mērīšanai. Diodes D4,D5 ļauj mērīt spriegumu līdz 1,2V. Operacionāls pastiprinātājs pastiprina spriegumu divās reizēs. Ja otrā ieeja netiks izmantota, ar tiltslēgu JP2 var atbrīvot mikrokontroliera D35 ieeju citam nolūkam.



Att.1.7. Buferizētās analogas ieejas principiālā shēma

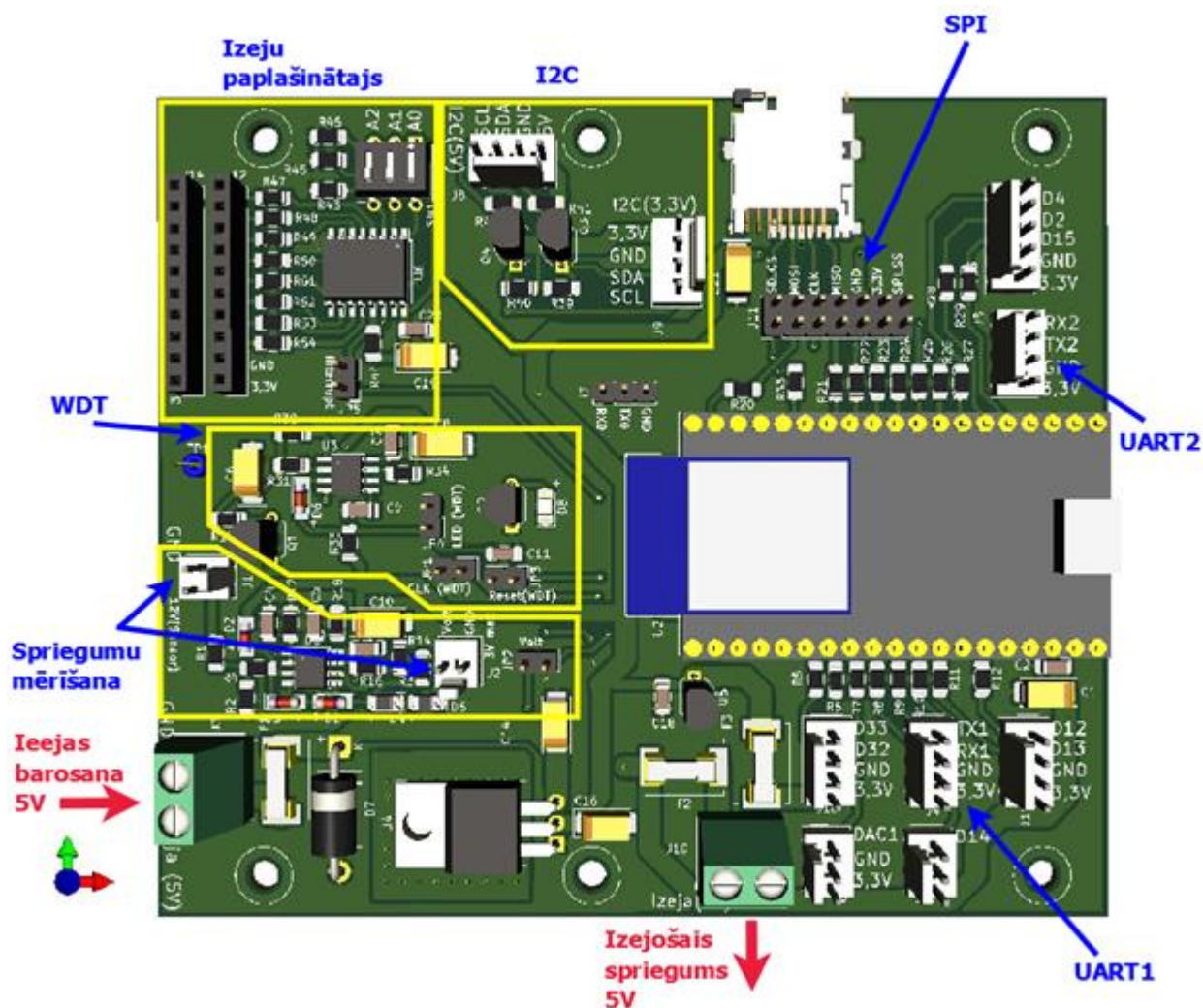
ESP32 savienošanai ar citiem moduļiem ir spraudni: UART1, UART2, I²C(3,3V) un I²C(5V). Abiem pēdējiem ir pievilkšanas rezistori. I²C(3,3V) savienots ar mikrokontrolieri tieši, bet I²C(5V) – izmantojot sprieguma līmeņu pārveidotāju (tranzistori Q3,Q4 - sk. pielikumu 2).

Izeju/ieeju paplašinātais tika uzbūvēts izmantojot mikroshēmu PCF8574. Tā savienota ar ESP32 izmantojot kopni I²C. Lai salāgotu ar citam ierīcēm, tika izmantota trīs bitu adresācija (komutators SW1). Kas, rezultātā, dot 8 kombinācijas.

INPUTS			I ² C BUS SLAVE 8-BIT READ ADDRESS	I ² C BUS SLAVE 8-BIT WRITE ADDRESS
A2	A1	A0		
L	L	L	65 (decimal), 41 (hexadecimal)	64 (decimal), 40 (hexadecimal)
L	L	H	67 (decimal), 43 (hexadecimal)	66 (decimal), 42 (hexadecimal)
L	H	L	69 (decimal), 45 (hexadecimal)	68 (decimal), 44 (hexadecimal)
L	H	H	71 (decimal), 47 (hexadecimal)	70 (decimal), 46 (hexadecimal)
H	L	L	73 (decimal), 49 (hexadecimal)	72 (decimal), 48 (hexadecimal)
H	L	H	75 (decimal), 4B (hexadecimal)	74 (decimal), 4A (hexadecimal)
H	H	L	77 (decimal), 4D (hexadecimal)	76 (decimal), 4C (hexadecimal)
H	H	H	79 (decimal), 4F (hexadecimal)	78 (decimal), 4E (hexadecimal)

Att.1.8. Mikroshēmas PCF8574 adresācijas varianti

Mikroshēmas porti ir spējīgi strādāt ne tikai kā izejas, bet arī kā ieejas. Otrā gadījumā, kad ieejas stāvoklis izmainīsies, PCF8574 ģenerēs pārtraukuma signālu. Tos var pieslēgt pie ESP32 D27 kontakta izmantojot tiltslēgu JP5 (uz plates uzraksts „Interrupt”).



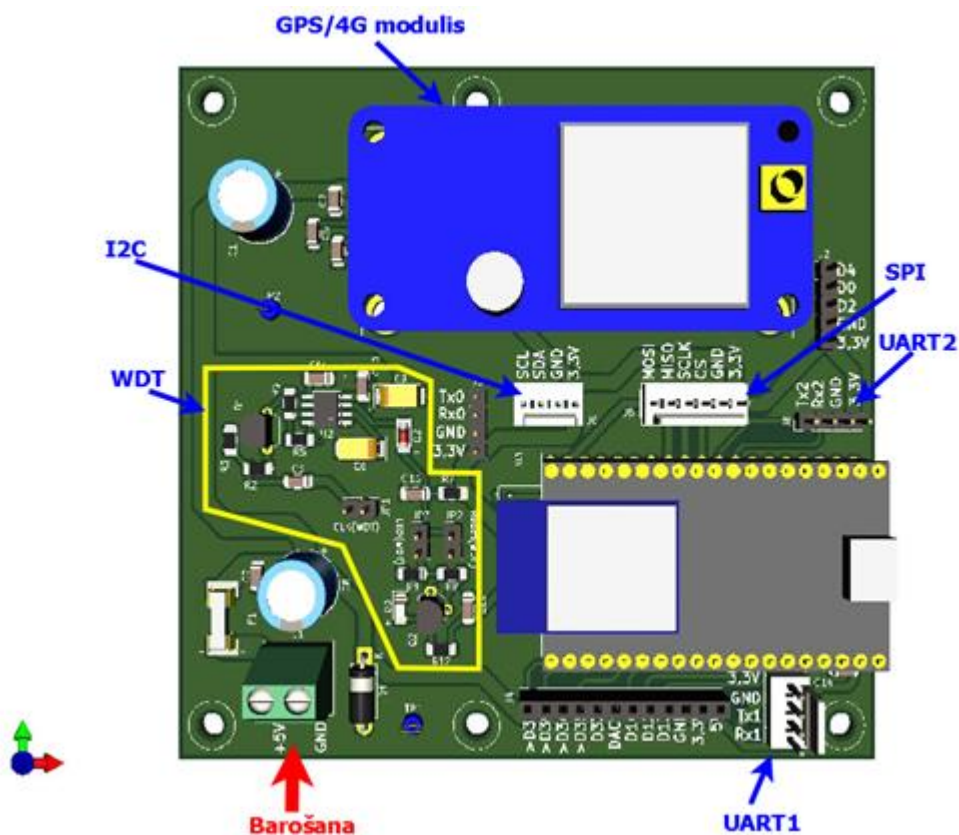
Att.1.9. Centrālās vadības plates mezglu izkārtojums

Vienīgais SPI kopnes patērētais platē ir SD karte. Tāpēc ir nepieciešams savienot kontaktus J11 ar tiltslēgu spraudnī. Gadījumā, ja radīsies nepieciešamība pieslēgt vēl citas ierīces, pie spraudņa J11 tiltslēgu vietā ir nepieciešams pieslēgt papildmoduli ar buferu mikroshēmām (piem., SN74AHC125D).

Kopā ar centrālās vadības plati var izmantot arī ārējus moduļus kam nav barošanas avotu. Spriegumu 5V var saņemt vai no speciāla barošanas skrūves spraudņa J10 (uz plates ir uzrakstīts „Izeja(5V)”, vai no „I2C(5V)”. Visiem pārējiem spraudņiem ir spriegums 3,3V. Abas barošanas līnijas tika pasargātas ar drošinātajiem F2,F3.

Komunikācijas moduļa plate.

Plate galvenā funkcionalitātē iekļauj datu pārraidi uz serveri un atpakaļ. Kontroliera ports UART2 ir izmantots informatīvai savienošanai ar GPS/4G moduli. Lai savienot ar citām platēm tiks izmantot portu UART1. Tiek paredzēta iespēja izmantot arī I2C un SPI kopnes (piem., devēju pieslēgšanai).



Att.1.10. Komunikācijas plates mezglu izkārtojums

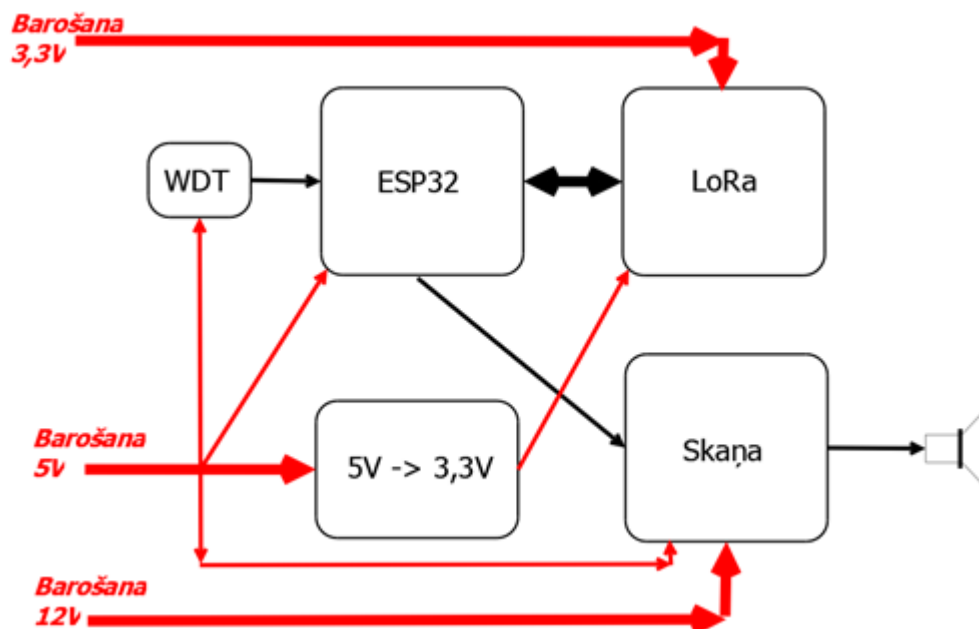
Plates barošanas ieeja ir pasargāta ar kustošo drošinātāju un supresoru D1 (sk. principiālu shēmu pielikumā 3).

Visi pārējie brīvi mikrokontrolera kontakti savienoti ar attiecīgiem spraudņiem J2 un J4, kurus var izmantot eksperimentiem un sistēmas tālākai attīstībai.

Platē arī ir Watch Dog Timer (attēlā apzīmēts ar “WDT”) elektronikas restartēšanai programmas kļūdas gadījumā. Taimera shēma sāk strādāt uzreiz pēc barošanas ieslēgšanas. Lai restartēšanas impulsi būtu pieejami ESP32, ir nepieciešams savienot tiltslēgu spraudņu JP2 („Reset(WDT)”) kontaktus. Tiltslēgu spraudnis JP1 („CLK(WDT)”) ļauj nomest WDT laiku. Bet tiltslēgu spraudnis JP3 („LED(WDT)”) ļauj iedarbināt gaismas diodes indikāciju.

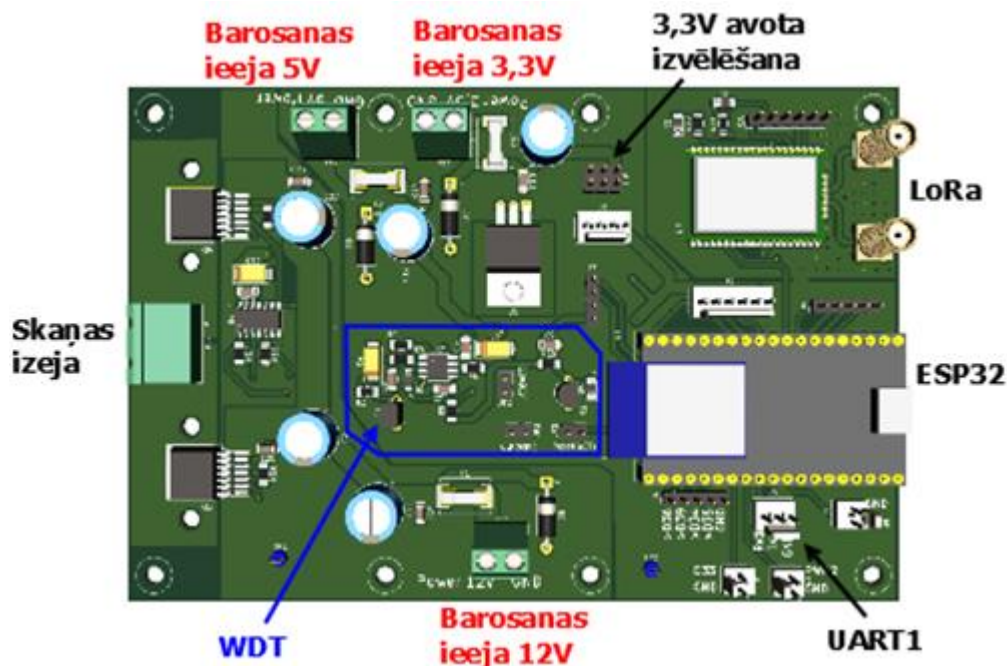
Ģenerācijas moduļa plate.

Platē ir savējs mikrokontrolieris skaņas ģenerācijai un komunikācijai ar citiem moduļiem. Vienas bojas ietvaros datu apmaiņai ar citām platēm var izmantot UART1, SPI un I²C kanālus (UART2 tiks izmantots lai strādātu ar LoRa-moduli, kas ir vajadzīgs lai nodrošinātu vairāku boju apvienošanu vienā tīklā).



Att.1.11. Ģenerācijas plates struktūras shēma

Plates barošanai tiek izmantoti trīs dažādi spriegumi: 12V (izejošas skaņas pastiprinātajam), 5V (pārējās elektronikas barošanai) un 3,3V LoRa-moduļa barošanai. Barošanas līnijas samazināšanai 3,3V var saņemt no iekšēja stabilizatora.

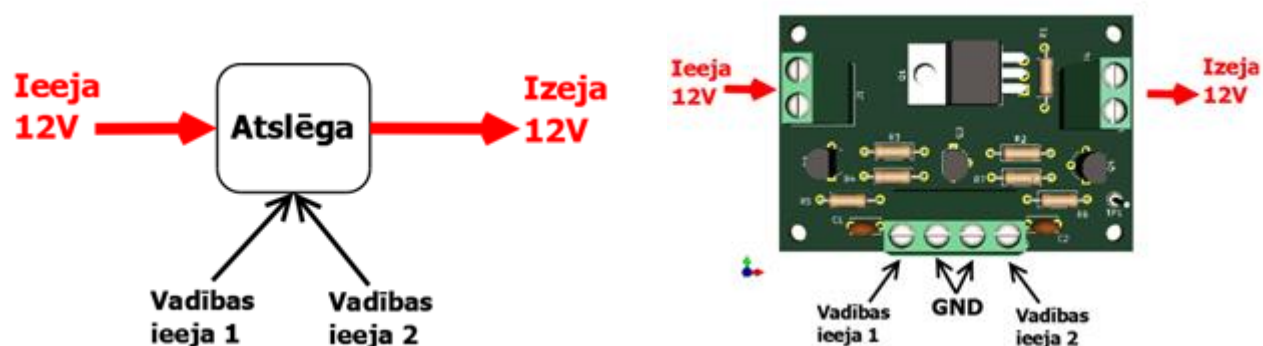


Att.1.12. Ģenerācijas plates mezglu izkārtojums

LoRa-modulis ir spējīgs strādāt divos diapazonos (433MHz un 868MHz). Platē ir spraudni abām frekvencēm.

Drošības moduļa plate.

Nemot vērā, ka akustiskam signālam darba spriegums var būt līdz 600V, tika izmantota speciāla barošanas komutēšanas plate (sk. pielikumu 5). Tā ļauj pievienot barošanas spriegumu pie skaņas pastiprinātāja ja ir divi atļaujošie signāli. To var izdarīt pieslēdzot loģisko nulli pie vadības ieejam, jeb savienojot tās ar zemi (kontakts GND).



1.13. Att. Drošības plates struktūras shēma un elementu izkārtojums

Shēmā tiek izmantots lauka tranzistors IRF4905, kas pilda spēka atslēgas funkcijas.

1.2. U1.2. Bezvadu akustiskā signāla vai elektriskās enerģijas pārraides sistēmas izstrāde

Darba uzdevuma ietvaros tiek veikta **jaudīgā akustiskā signāla vai akumulatora enerģijas pārraides sistēmas izstrāde**, kas nodrošinās induktīvās saites realizāciju starp **vadības mezglu (signālu ģeneratoru) un pārveidotāju**, kas ļauj manāmi paaugstināt sistēmas drošumu, vienkāršot sistēmas lietošanu (akumulatora maiņu) un apkopi, **neizmantojot nevienu elektrisku/signāla spraudni jūrā**. Sistēmas izstrāde iekļaus atbilstošo prasību definēšanu akustiskā signāla vai elektriskās enerģijas pārraides sistēmai, modelēšanu specializētās vidēs, laboratorijas prototipa izgatavošanu, testēšanu un pieskaņošanu.

Projekta iepriekšējā fāzē jau tika secināts, ka ierīcei jāstāvē no jūrā stacionāri novietotas daļas un viegli nomaināma akumulatoru bloka. Pie tam jūrā nav pieļaujamas nekādas darbības ar kabeļu savienošanu, kam agrāk vai vēlāk sekos kontaktu korozija. Tātad enerģijas pārvadei jāizmanto kādu no bezvadu metodēm. Konkrētajos apstākļos praktiski realizējama ir tikai pārvade caur mainīgu magnētisko lauku, izmantojot raidošo un uztverošo spoles.

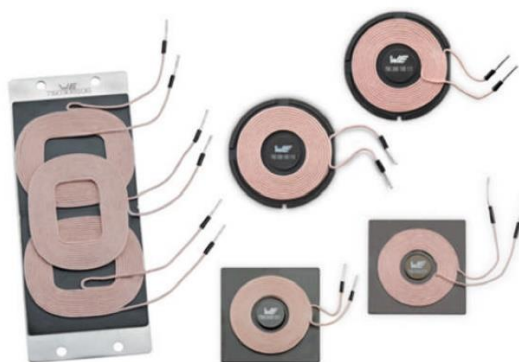
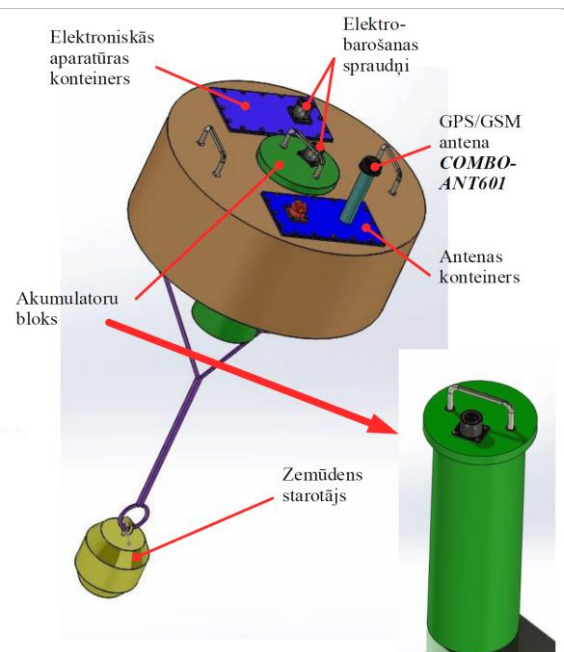
Akumulatoru bloka korpusam (attēlā – zaļš) jābūt cilindriskas formas, kas ļauj tam izmantot samērā lētas un izturīgas plastikas caurules posmu.

Bez tam jāuzsver – enerģijas pārvadei jānoris neatkarīgi no akumulatoru bloka pozīcijas stacionārajā daļā (resp. tā pagrieziena leņķa ap bloka asi), jo prasība ievietot akumulatoru bloku noteiktā stāvoklī un to piefiksēt pārmērīgi sarežģītu gan iekārtas lietošanu, gan konstrukciju.

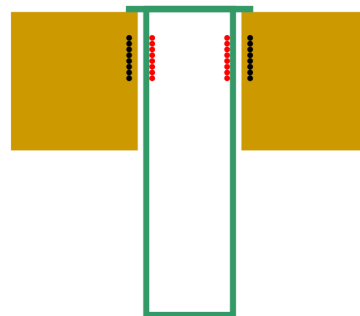
Taču attiecībā uz spoļu konstrukciju izvēlētais risinājums nozīmē:

1. Nav izmantojamas katalogos pieejamās plakanās spoles ar magnētisko serdi (piem. attēlā – Würth Elektronik ražojumi). Gan tāpēc, ka sienu izliekuma dēļ abas spoles atrastos pārāk tālu viena no otras. Gan tāpēc, ka šādu izmēros mazu (līdz 5x5 cm) spoļu izmantošana prasītu pārāk precīzu akumulatoru bloka pozicionēšanu.

Šādas spoles varētu lietot tikai tad, ja stacionārās daļas vidū vienkārša cauruma vietā būtu caurule ar noslēgtu apakšējo atveri, kas atbilstu akumulatoru bloka izmēriem. Spoļu vieta būtu bloka apakšējā vāka vidū, uz bloka ass – tad nebūtu vajadzīga bloka pozicionēšana. Diemžēl šāda konstrukcija nesamērīgi sarežģītu to un paaugstinātu izmaksas.



2. Atliek vienīgais spoļu novietojums – koncentriski, kā redzams attēlā. Ar sarkanu iezīmēti raidošās, ar melnu – uztverošās spoles vijumi. Magnētiskās serdes izveidošana šeit praktiski nav iespējama. Piemērotu izmēru serdes netiek ražotas sērijveidā, bet unikālu seržu pasūtīšana ir nesamērīgi dārga.



Jautājums – ko pārvadīt? Ir divas iespējas, kas salīdzinātas sekojošā tabulā. Pirms tam jāatgādina, ka uz katru stacionāro (jūrā noenkuroto) daļu vajadzīgi divi akumulatoru bloki. Kamēr viens darbojas jūrā, otrs krastā tiek uzlādēts. Priekšrocība iezīmēta zaļā krāsā, trūkums – sarkanā.

Veids	Pārvada skaņas frekvenču jaudu, ko tālāk izstaro skaļrunis.	Pārvada jaudu stacionārās daļas barošanai .
Mainīgā magnētiskā lauka frekvence	Zemāka – 8...16 kHz. Efektīvai pārvadei nepieciešama serde no materiāla ar augstu magnētisko caurlaidību. Vijumu skaits – pēc iespējas liels. Korpusā tam visam nav vietas.	Ap 10 reižu augstāka – 100...200 kHz. Jo augstāka frekvence, jo efektīvāka jaudas pārvade tādu pašu izmēru transformatorā (kamēr neizpaužas specifiskie zudumi). Pie šādām frekvencēm var darboties arī bez serdes.
Pārvadāmā jauda	Atbilstoši izstarojamai skaņai – pat līdz 100W. Un ļoti nevienmērīgi – garām pauzēm seko samērā īsi lielas jaudas impulsi. Bet transformatoru jāizveido piemērotu lielākajai jaudai.	Ja akumulatori ir izvietoti tikai maināmajā blokā, tad pārvadāmā jauda līdz ar izstarotās skaņas jaudu svārstās robežās 1...100W. Tāču stacionārajā daļā var ievietot mazākas ietilpības akumulatoru, kas nodrošinās patērētās jaudas pīkus, un pārvadīt tikai vidējo jaudu, resp. tikai uzlādēt stacionāro akumulatoru ar samērā mazu jaudu – līdz 10...20W, kas atbilst stacionārās daļas vidējam patēriņam.
Aparatūras izmaksas	Šajā gadījumā abos maināmajos akumulatoru blokos jāievieto visu sistēmas darbam nepieciešamo komplektu. Tajā skaitā GSM sakaru moduļus, GPS uztvērējus, utt. Aparatūras izmaksas dubultojas.	Vairums sistēmas darbam nepieciešamo bloku atrodas stacionārajā daļā – vienā komplektā. Izmaksas – ievērojami zemākas.

Ar šiem apsvērumiem pietiek lai secinātu:

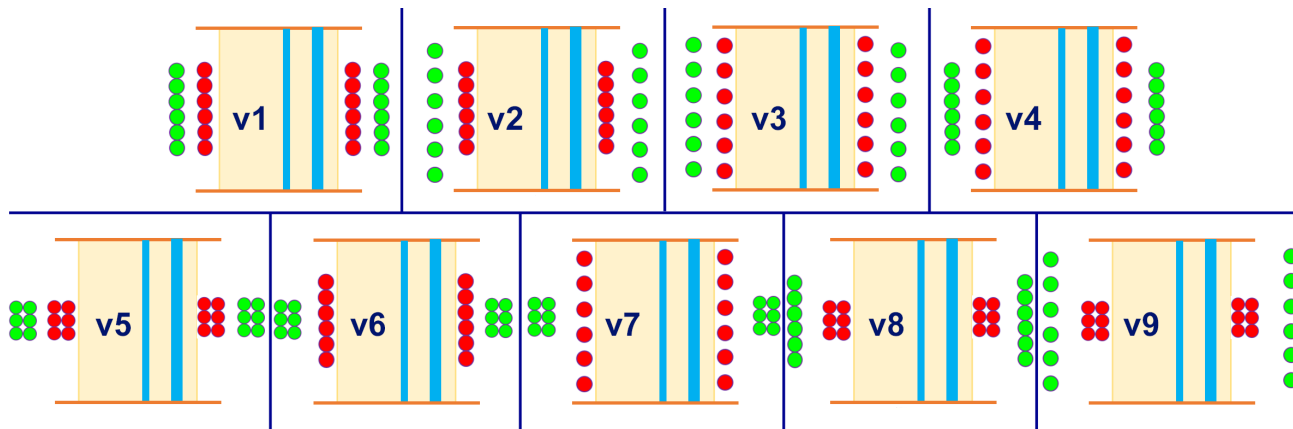
1. Ir jāpārvalda vidējai patērētai atbilstoša jauda 10...20W līmenī ar augstāku frekvenci 100...200kHz.
2. Stacionārajā daļā jāparedz mazākas (piem 10...20Ah) ietilpības akumulatoru patērētās jaudas pīķu nodrošināšanai.

Spoļu iespējamais izmērus ierobežo konstruktīvi apsvērumi: augstums – līdz 100mm, iekšējās (raidītāja) spoles diametrs – līdz 180mm, starp iekšējo un ārējo (uztvērēja) spoli jāatstāj vismaz 30mm. Taču šajās robežās iespējams variēt ar vijumu izvietojumu. Mērķis ir sasniegt pēc iespējas lielu saites koeficientu starp spolēm.

Eksperimenti šeit prasītu pārāk lielus resursus, tāpēc tika veikta modelēšana programmā *AnSys*, ar ko var veikt elektromagnētisko lauku modelēšanu.

Tika aprēķināti parametri attēlā redzamām vijumu konfigurācijām, pie tam:

- Virs uz zem spolēm paredzēta magnētiski mīksta dzelzs 1mm biezi diski kā ekrāni, samazinot elektronikas platēs inducētos traucējumus;
- Modelī iekļautas arī alumīnija caurulītes raidošās spoles vidū (attēlā – zilā krāsā), par to nozīmi skat. tālāk;
- Raidošā spole attēlos – sarkanā krāsā, uztverošā – zaļā. Vijumu skaits – abām spolēm pa 6.



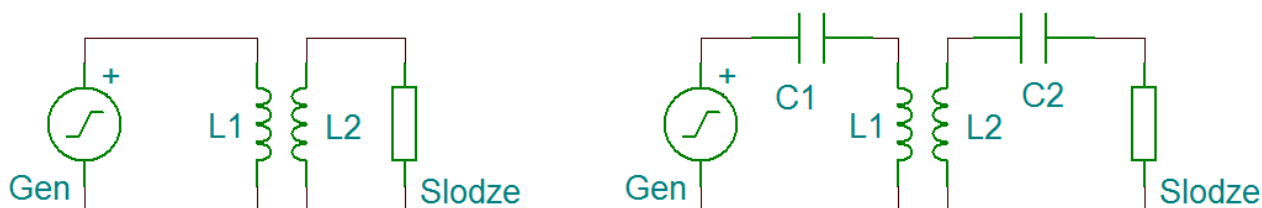
Rezultāti liecina, ka pie 100kHz frekvences konfigurācijai V1 minētās dzelzs diski induktāti samazina par 5% un saites koeficientu – tikai par 1%. Resp. to lietošana ir pieļaujama. Sekojošā tabula uzrāda rezultātus spolēm pie 100kHz frekvences kopā ar minētajiem diskus. Kā slodzes pretestība uztvērēja pusē pieņemti 10Ω, jauda raidītāja pusē – 10W.

Izkārtojums	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9
Raidošās spoles induktivitāte [μH]	8.52	4.72	4.82	8.91	9.84	8.56	4.89	9.84	9.81
Uztverošās spoles induktivitāte [μH]	13.94	8.17	13.95	8.19	15.68	15.68	15.68	15.68	8.18
Saites koeficients	0.377	0.455	0.392	0.393	0.349	0.345	0.358	0.349	0.390

Rezultāti uzrāda:

1. Visciešākā saite starp spolēm ir variantā V2 (iezīmēts sarkanā krāsā), kurā uztverošās spoles vijumi ir izkliedēti. Tas pats arī oranži iekrāsotajos V3, V4 un V9.
2. Izvietojot vijumus 2 slāņos, saite ir visvājākā.
3. Tehnoloģiski ērtākais ir V1, kas tikai nedaudz atpaliek no līderiem saites ziņā. Pie šā arī paliekam.

Nākošā izvēle – tīri induktīva vai rezonanses induktīvā saite:



Induktīvā saite (attēlā pa kreisi) shēmatiski ir vienkāršāka (piem. var darboties ar brīvi izvēlētu frekvenci, ko nosaka atsevišķs ģenerators) taču tā nespēj nodrošināt tik augstu lietderības koeficientu, kā rezonanses induktīvā saite (attēlā pa labi). Bet lietderības koeficients mūsu gadījumā ir kritiski svarīgs.

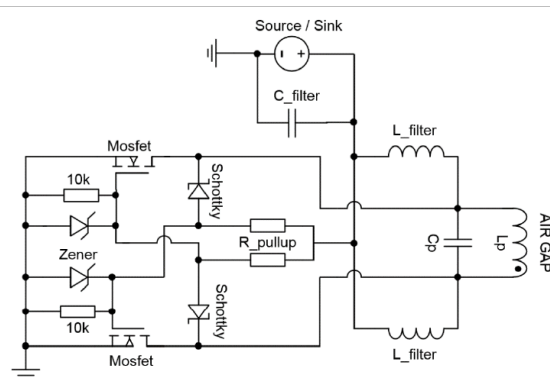
Attēlā rezonanses induktīvā saite attēlota abās pusēs ieslēdzot virknes kontūrus. Taču atkarībā no raidītāja shēmatikas un slodzes veida (izdegīgāks ir konstants spriegums vai konstanta strāva), iespējami arī slēgumi ar paralēlo kontūru vienā vai abās pusēs.

Rezonanses induktīvās saites gadījumā grūtības rada nepieciešamība darboties ar frekvenci pēc iespējas tuvu rezonanses frekvencei. Vēl papildus – uztverošās spoles L2 induktivitāte mūsu risinājumā noteikti atšķirsies (jo tās diametrs ir lielāks). Tāpēc īpaši jāpiemeklē arī uztverošās daļas C2 kapacitāti. Shēmās ar ārēju ierosmi (frekvenci nosaka atsevišķs vadāms ģenerators) nepieciešama atgriezeniskā saite, kas frekvenci noturētu pie rezonanses – sarežģīti. Šajā ziņā priekšrocības ir shēmām, kuru ģenerācijas frekvenci nosaka pats raidītāja kontūrs (resp. tas kopā ar uztverošās puses kontūru).

Tieši šādu – pašierosmes raidītāja shēmu piedāvā Würth Elektronik rakstā *High Power Wireless Power Transfer* – skat. attēlu.

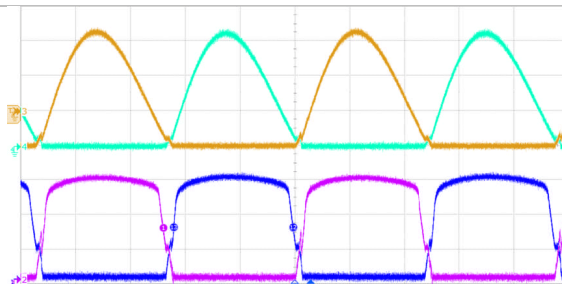
Shēmā divi tranzistori ieslēgti multivibratora slēgumā, un slodze ir paralēls kontūrs LpCp.

Pēc barošanas ieslēgšanas abiem tranzistoriem ir vienādas iespējas atvērties (to nodrošina Rpullup rezistori). Taču reālu tranzistoru parametru nelielas atšķirības dēļ viens no tiem atveras pirmais un caur atvērtu Šotki diodi aizlīdz atvērties otram. Sākas strāvas plūsma kontūrā. Pēc laika, kas ir vienāds ar



pusi kontūra rezonanses frekvencei atbilstoša perioda, situācija mainās – pirmais tranzistors aizveras un atveras otrs. Tālāk pārslēgšanās turpinās atbilstoši raidošā kontūra rezonanses frekvencei.

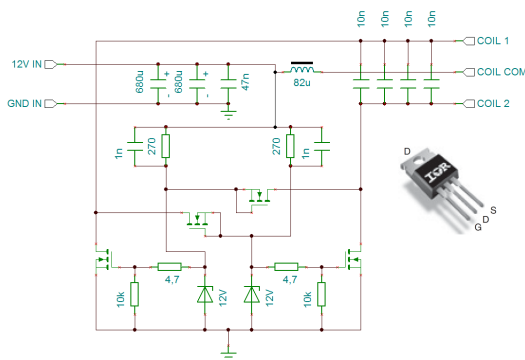
Oscillogrammas augšējā daļa – spriegumi tranzistoru notecēs, apakšējā daļa – aizvaros.



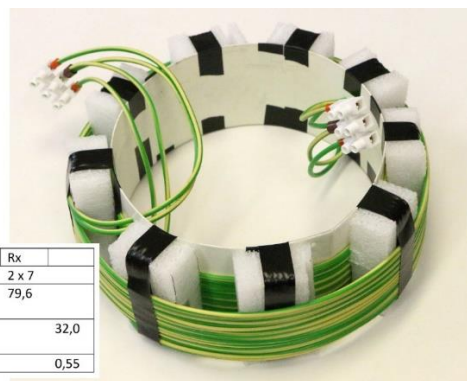
Praktiskā shēmas pārbaudē uztvērēja pusē kā slodze tika izmantota *Thurlby Thandar Instruments* ražotā elektroniskā slodze LD300, ar kuru var uzstādīt vairākus slodzes režīmus – gan ar konstantas strāvas patēriņu, gan konstantu spriegumu, jaudu vai pretestību.



Sekojošos attēlos redzama modificēta raidītāja shēma. Tajā ir tikai viena filtra induktīvā spole (tās ir visai dārgas), toties raidošā spole sadalīta 2 vienādās daļās. Redzams arī viens no vairākiem spoļu variantiem kas praktiski tika pārbaudīti, lai noteiktu optimālo vijumu skaitu.



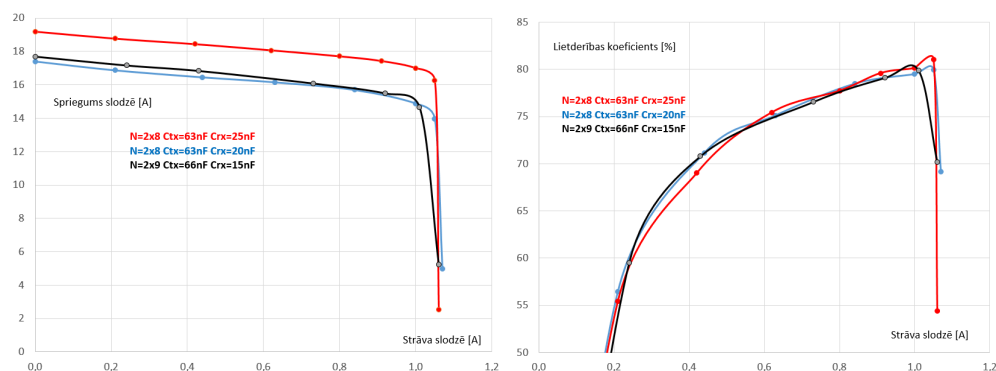
	Tx	Rx
Vijumi	2 x 6	2 x 7
Induktāte [μH]	43,4	79,6
abām pusēm kopā		32,0
Savstarpējā induktāte [μH]		
abām pusēm kopā		
Saites koeficients		0,55



Sekojošie grafiki uzrāda rezultātus eksperimentā pie nosacījumiem:

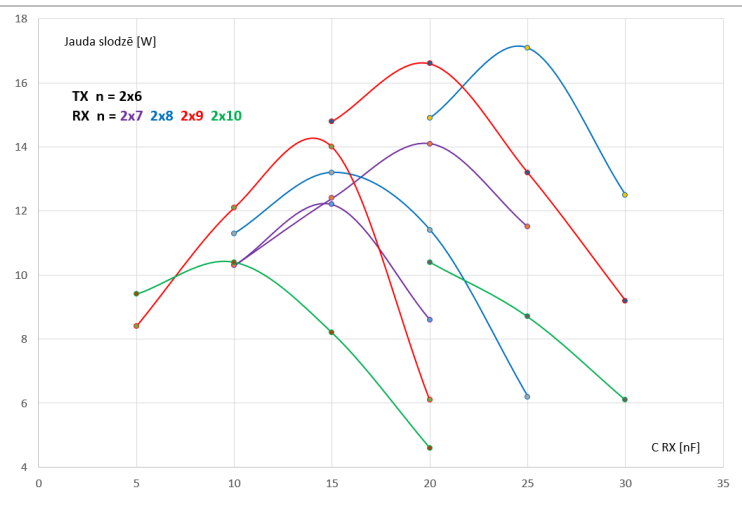
- Barošanas spriegums raidītāja pusē 13,4V (atbilst izvēlētajam akumulatora spriegumam vidējā izlādes stāvoklī);
- Raidošā (iekšējā) spole - 2 x 6 vijumi, uztverošās (ārējās) spoles vijumu skaits tikai mainīts. Katru reizi tika piemeklēta uztverošās puses kontūra kondensatora kapacitāte, pie kuras izejā nonāca maksimālā jauda.

- Abās pusēs – paralēls kontūru slēgums.



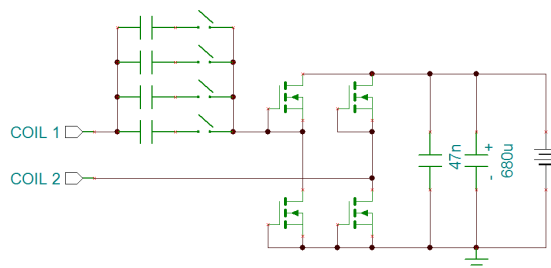
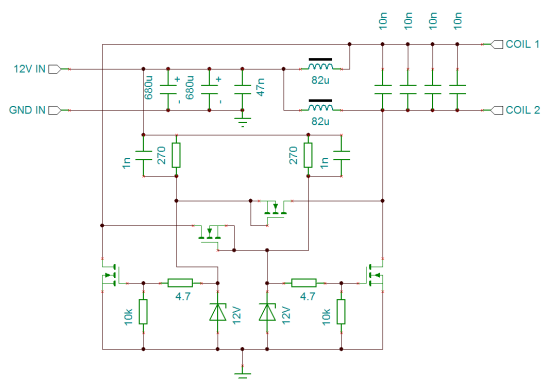
Kreisās puses grafikā – spriegums slodzē atkarībā no patērētās strāvas (resp. stacionārās daļas akumulatora uzlādes strāvas). Redzams, ka ar paralēlo kontūru uztvērēja puse darbojas kā sprieguma avots – līdz 1,0...1,05A strāva spriegums ir teju konstants, pārsniedzot to, spriegums krasi samazinās. Lietderības koeficients pie 1A strāvas ir diezgan labs – ap 80%. Tomēr konstanta sprieguma režīms kopā ar prasību uzlādēt stacionārās puses akumulatoru sarežģī shēmu kopumā, jo prasa starp uztvērēja taisngrieža izeju un akumulatoru ieslēgt strāvas regulatoru. Tā lietderības koeficients pat vislabākā gadījumā nepārsniedz 80...90%, samazinot shēmas kopumā lietderības koeficientu līdz 60-70%.

Grafikā redzama sasniegtā jauda slodzē pie dažāda vijumu skaita un kapacitātes uztvērēja pusē. Sasniegtā 14...16W jauda nav pietiekama – tā neatstāj rezervi lielākam strāvas patēriņam stacionārās daļas iekārtās.



Nākošā eksperimentu sērija tika veikta atbilstoši šādiem apsvērumiem:

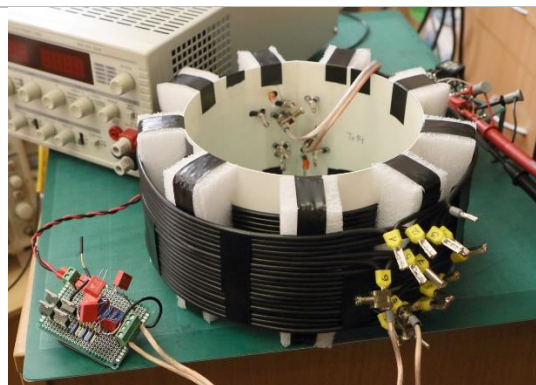
- Stacionārās puses akumulatora uzlāde ar konstantu strāvu ir ievērojami vienkāršāka, tāpēc uztvērēja pusē lietots kontūra virknes slēgums. Kā taisngrieža diodes šeit izmantotas lauktransistoros iebūvētās Šotki diodes (shēma labā pusē).
- Raidošā pusē (pa kreisi) atgriežamies pie viena tinuma spoles un divām filtrējošām induktātēm. Un raidošās spoles induktāte (resp. vijumu skaits) tišām samazināts, kam jāļauj pie samērā zema raidītāja barošanas sprieguma (12...14V) panākt lielāku strāvu spolē.



Bez tam tika izgatavota spole ar vairākiem atzarojumiem gan raidošāi, gan uztverošāi spolēm, lai noteiktu vēlamo vijumu skaitu.

Pirms katra mērījuma:

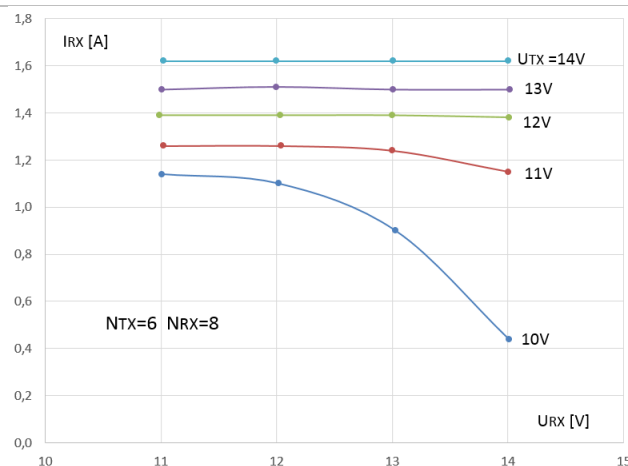
- kapacitāte raidošā pusē tika piemēlēta tā, lai rezonanses frekvence būtu ap 150kHz;
- tika piemēlēta kapacitāte uztverošā pusē maksimālai slodzes strāvai.



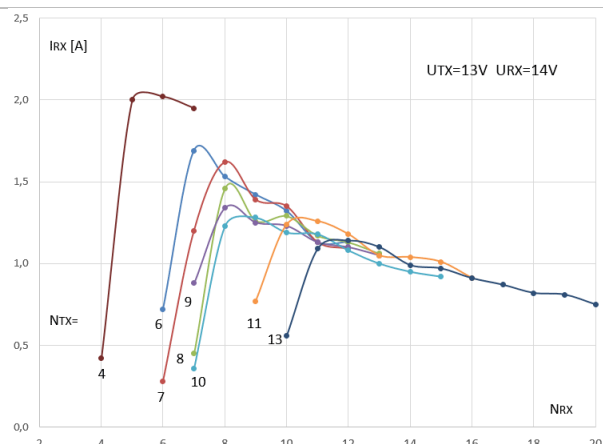
Pirmais grafiks uzskatāmi parāda – shēma darbojas kā strāvas avots.

Piem. pie barošanas sprieguma raidītāja pusē 12...14V stacionārās puses akumulatora uzlādes strāva paliek teju konstanta gan pie uzlādēta (URX=14V), gan pie teju iztukšota akumulatora (URX=11V).

Un uzlādes strāva 1,2...1,6A līmenī jau nodrošina zināmu rezervi stacionārās daļas barošanai.

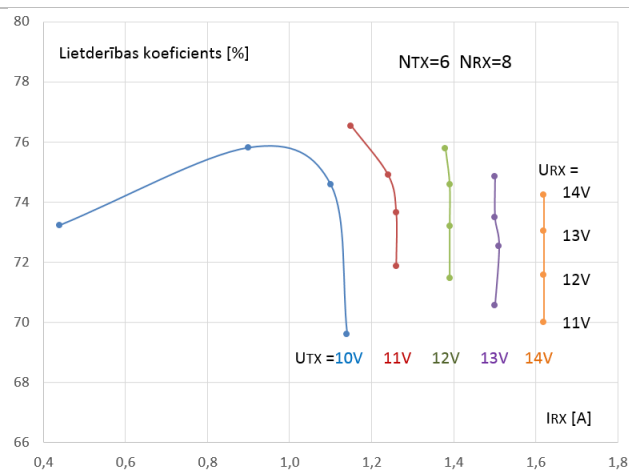


Šajā grafikā tiek mainīts abu spoļu vijumu skaits, turot konstantu raidītāja barošanas spriegumu ($U_{TX}=13V$) un arī sekundārā akumulatora spriegumu ($U_{RX}=14V$). Redzams - maksimālo strāvu iegūstam pie uztverošās un raidošās spoļu vijumu attiecības 1,1...1,3 (resp. uztverošajā spolē tikai par 1...3 vijumiem vairāk, nekā raidošajā). Un apstiprinās pieņēmums – mazāk vijumu raidošā spolē, mazāka tās induktāte, pie dotās barošanas varam panākt tajā lielāku strāvu. Protams, šai tendencei pastāv robeža, kas eksperimentā nav sasniegta. To nosaka arvien lielāka nepieciešamā kontūra kapacitāte un zudumi kondensatorā.

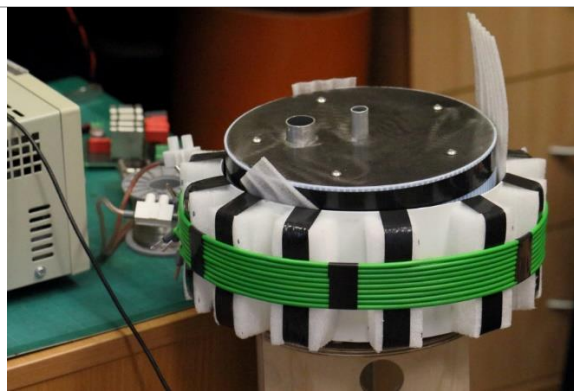
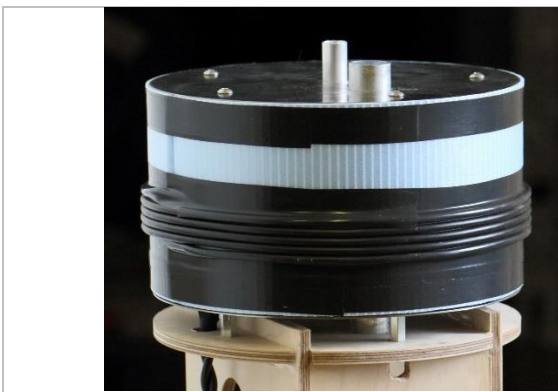


Šajā grafikā redzams lietderības koeficients pie vienas no labākajām vijumu attiecībām (raidītājā – 6 vijumi, uztvērējā – 8) un dažādiem abu pušu akumulatoru spriegumiem.

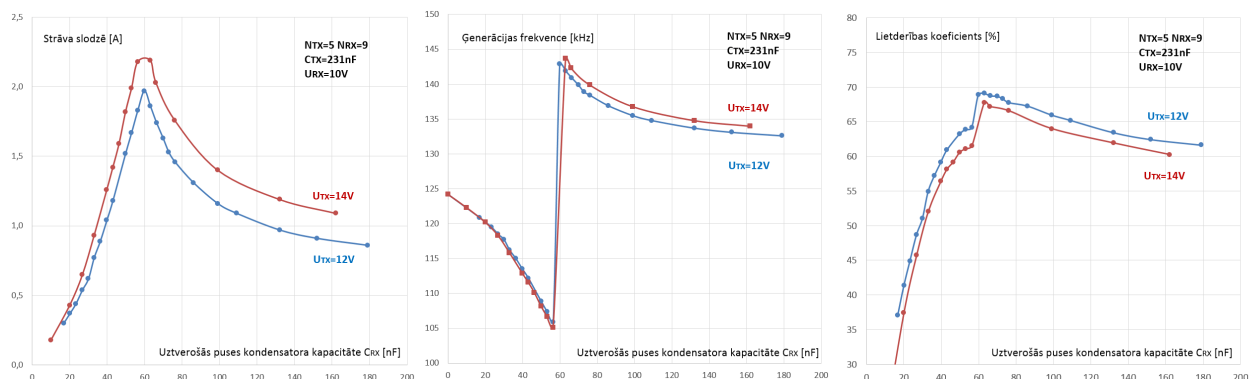
Lielāko daļu darba laika abu pušu akumulatoru spriegums būs 12,0...13,0V. Un lietderības koeficients tad ir 72...74% robežās. Tas nesasniedz literatūrā bieži minēto 80...90% līmeni. Taču lielākoties šādos rakstos lietderības koeficients ir tikai novērtēts modelēšanā, ne reālā shēmā.



Līdz ar to ir noskaidrots raidošās spoles vijumu skaits. To pieņemam $N=5$ (starp iepriekš eksperimentā par labākajiem atzītiem 4 un 6). Attēlos redzama raidošā spole jau gala variantā, kopā ar ekranējošiem dzelzs diskiem. Atliek noskaidrot labāko uztverošās spoles (ar zaļo vadu) vijumu skaitu un kondensatoru kapacitātes. Ar putuplasta klucīšiem panākts attālums starp spolēm, kāds būs reālā iekārtā.

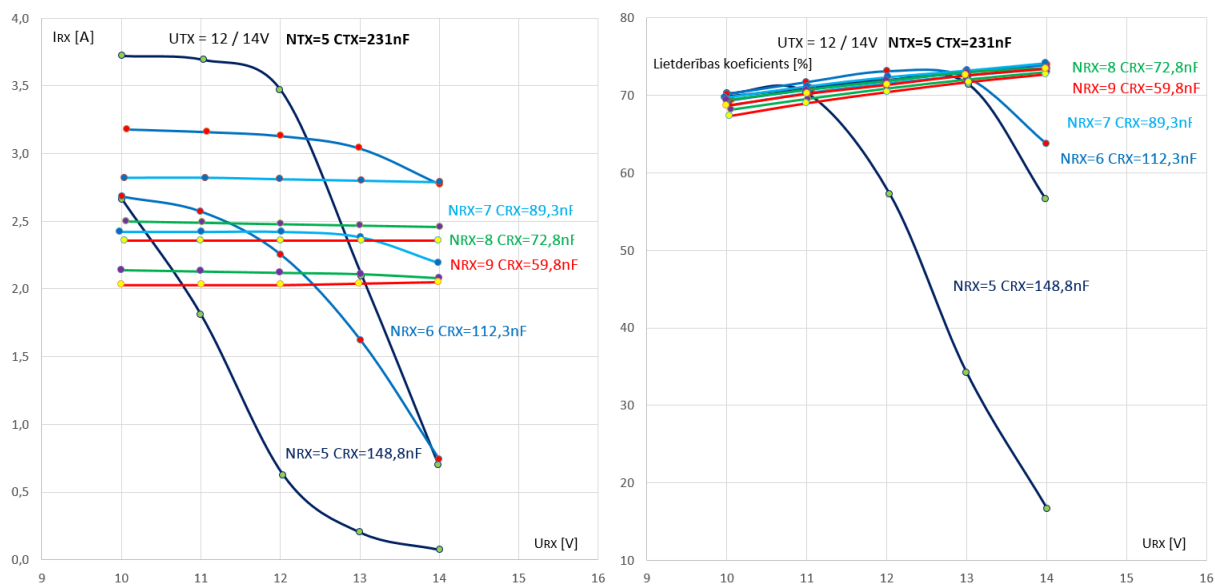


Sekojošie grafiki parāda, kā jaudas pārvadi ietekmē uztverošās puses kondensatora kapacitāte (resp. uztverošā kontūra rezonanses frekvences atšķirība no raidošā rezonanses frekvences).



Kā jau sagaidāms, strāva slodzē un lietderības koeficients sasniedz lielāko vērtību, kad abu kontūru sistēma ir tuva rezonansei. Taču saistītiem kontūriem mēdz būt viena vai vairākas kvazi-rezonanses frekvences, atkarībā no saites starp kontūriem un atsevišķi ņemtu kontūru rezonanses frekvencēm. Šeit tas notiek, kad uztverošās puses kondensatora kapacitāte ir tuva 60nF. Ja tā ir tikai nedaudz mazāka, ģenerācija notiek pie 105kHz, ja nedaudz augstāka – jau pie 143kHz.

Pie minētās 60nF kapacitātes ar osciloskopu novērotās svārstības ir neregulāras, un režīms var kļūt bīstams. Tāpēc šajā piemērā optimāla uztverošās puses kondensatora kapacitāte būs 65...70nF – ar labu lietderības koeficientu (tuvu 70%) un pietiekami lielu strāvu slodzē (ap 2A). Te jāuzsver, ka šie mērījumi tikai ilustrē parādību, kā tika izvēlēta uztverošā kondensatora kapacitāte nākošajos mērījumos, bet neuzrāda notiekošo pie optimāla uztverošās spoles vijumu skaita. Sekojošos grafikos redzami rezultāti pie dažāda uztverošās spoles vijumu skaita (iepriekš attēlā – ar zaļo vadu).

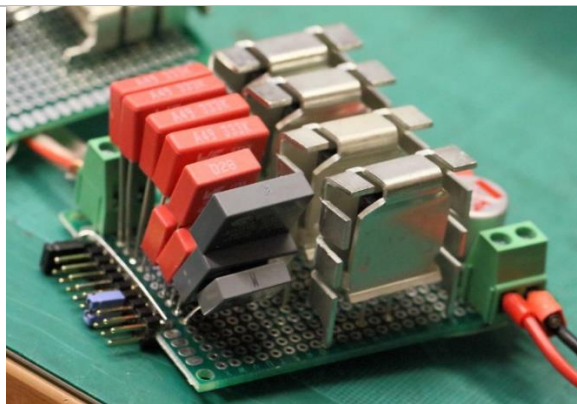


Labākie rezultāti iegūti pie 7 vijumiem uztverošajā spolē un kondensatora kapacitātes 89,3nF, ja raidošās puses kondensatora kapacitāte ir 231nF. Šādas vērtības neatbilst ražoto kondensatoru nominālu rindai, taču abas var proporcionāli mainīt. Tā var iegūt piem. 220nF un 82nF – pa vienam kondensatoram katrā pusē. Taču tomēr jāpaliek pie vairāku mazākas kapacitātes kondensatoru paralēla slēguma, jo:

1. Lielās kontūra strāvas dēļ vienā kondensatorā izdalītais siltuma daudzums būs lielāks, nekā vairākos mazākas kapacitātes paralēli slēgtos kondensatoros. Tas arī ietekmē lietderības koeficientu.
2. Ražojot iekārtu vairākos eksemplāros, spoļu parametri nedaudz atšķirsies. Taču savietojamības dēļ abu pušu kontūriem jābūt pēc iespējas tuvām rezonanses frekvencēm. Tāpēc kondensatoru bateriju veidos vairāki pastāvīgi ieslēgti kondensatori un daži, mazākas kapacitātes, kas tiks vai netiks ieslēgti kontūrā noskaņošanas procedūrā.

Attēlā redzama pēdējās eksperimentu sērijas laikā izmantotā uztverošās puses tainsgrieža plate, uz kuras ielodēta arī kondensatoru baterija, kas ieslēdzama kontūrā ar 2,54mm īsslēgu palīdzību (kreisajā pusē, lejā). Gala variantā te atradīsies:

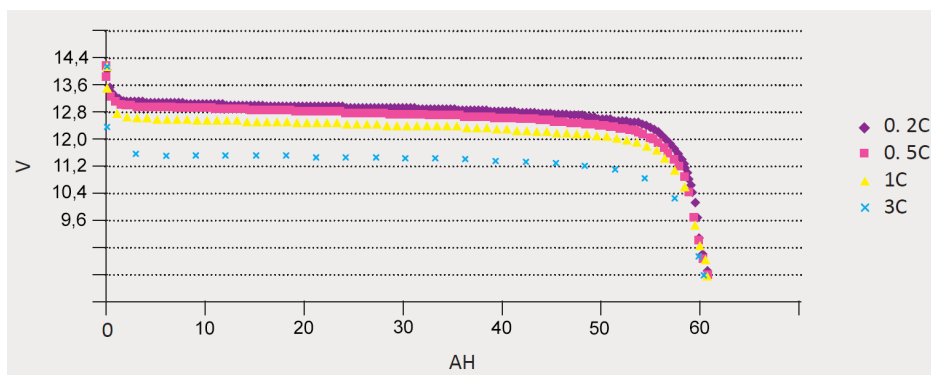
- pastāvīgi ieslēgti 2x 33nF
- ar īsslēgiem pieslēdzami 2x10nF, 2x6,8nF, 1x3,3nF kondensatori.



Iekārtā tiks lietoti akumulatori:

- raidītāja pusē (resp. akumulatora blokā) – četri virknē ieslēgti GWL Power LiFePo4 elementi ZG-LFP060AH ar 60Ah ietilpību (izmēri 130x186x36mm, svars katram 1,68kg);
- uztvērēja pusē (stacionārajā blokā) – tā paša ražotāja mazākas ietilpības četri virknē slēgti elementi ZG-LFP020AH ar 20Ah ietilpību (izmēri 71x178x28mm, svars katram 0,65kg).

Attālos redzami 60Ah elementa ārējais izskats un 4 virknē ieslēgtu elementu izlādes līknes pie slodzes strāvas 12A, 30A, 60A un 180A. Mūsu gadījumā slodzes strāva nepārsniegs 3...4A, tāpēc var rēķināties ar spriegumu sākot ar 13,2V (izlādes sākumā) līdz 12,4V (pie 90% izlādes).

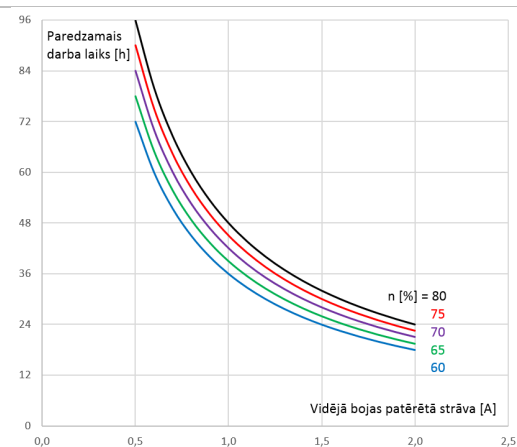


Grafikā aprēķināts stacionārā bloka darba laiks atkarībā no vidējās tā patērētās strāvas un enerģijas pārvades lietderības koeficienta.

Ja vēlamies sasniegt 3 diennakšu darba laiku, vidējā strāva nedrīkst pārsniegt 0,6...0,7A.

Ja pietiek ar 2 diennaktīm, var atļauties jau 0,8...0,9A.

Lielākam darba laikam būs nepieciešami lielākas ietilpības maināmie akumulatori.



Lai arī ražotājs sola, ka šiem LiFePO₄ tehnoloģijas akumulatoriem, saslēgtiem virknē, balansēšana nav nepieciešama (vismaz, ja tos pirms darba uzsākšanas nobalansē), shēmā iekļaujam balansēšanas plati ZLA04 (supowerbattery.com). Papildus balansēšanai tā:

- pārtrauc ķēdi, ja akumulatora spriegums pārsniedz maksimāli pieļaujamo $4 \times 3,85V = 15,4V$ (pie uzlādes) vai pazeminās zem minimāli pieļaujamā $4 \times 2,10 = 8,40V$ (pie izlādes),
- darbojas arī kā ātrs elektronisks drošinātājs ar nostrādes sliekšni 30A.

Plates pašpatēriņš – tikai 0,1mA.



Raidītāju akumulatoru blokā nav lietderīgi darbināt nepārtraukti. To ir jāiedarbina tikai pēc vajadzības – kad uzkrājošais akumulators stacionārajā blokā jau tuvojas izlādes stāvoklim. Līdz ar to ir nepieciešams:

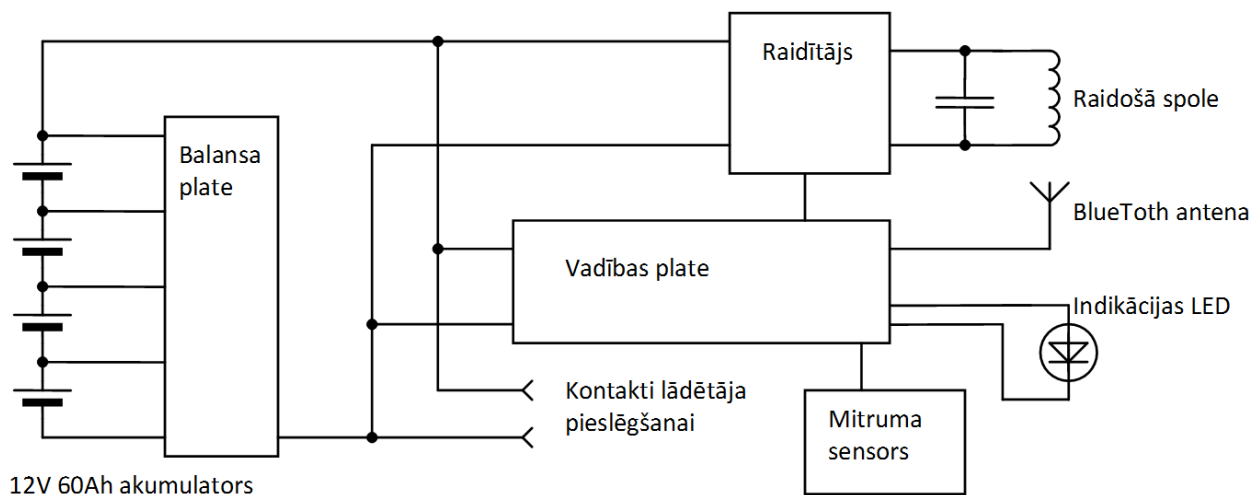
- sekot līdzi stacionārā bloka akumulatora stāvoklim,
- nodot pārraides START vai STOP komandu akumulatoru blokam,

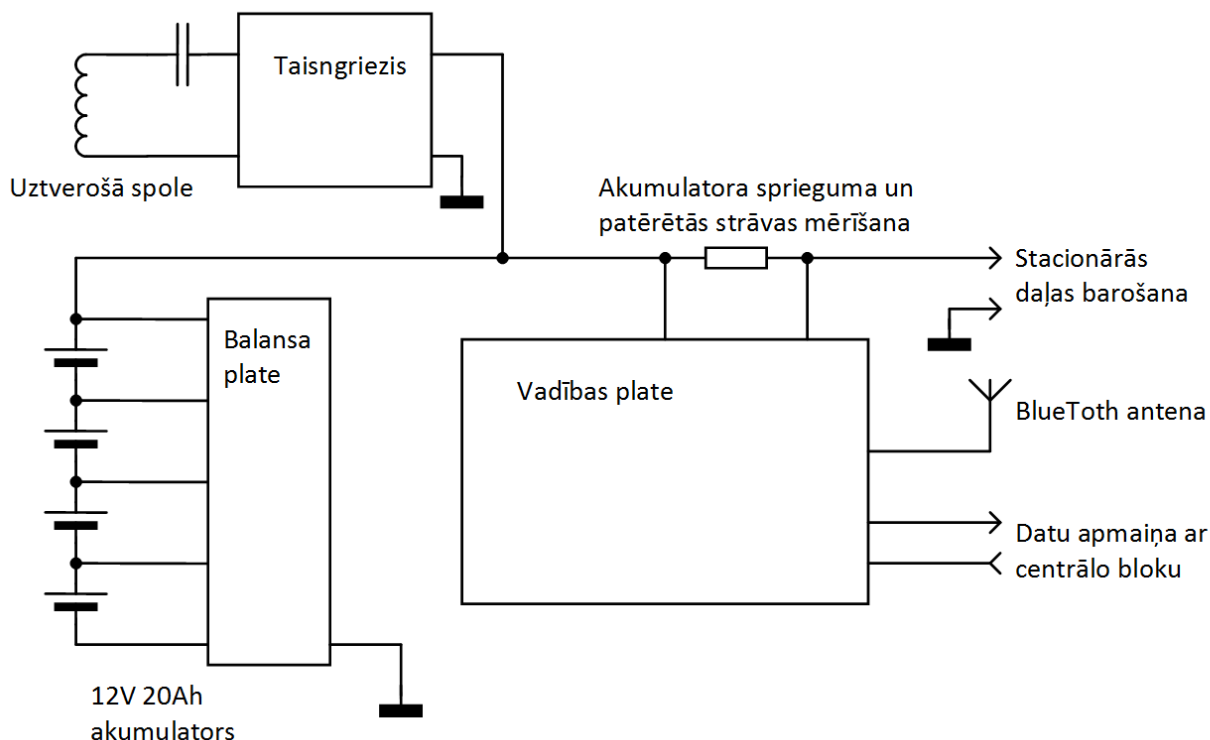
- arī ziņot stacionārajam blokam par primārā akumulatora stāvokli – lai izsīkstot tā lādiņam pārietu enerģijas taupīšanas režīmā un nodotu uz krastu ziņu par to.

Kā papildus funkcija jāparedz avārijas situācijas (sūce akumulatoru bloka korpusā, tā apakšā sakrājijs ūdens) detektēšana un ziņas par to nosūtīšana stacionārajam blokam tālākai ziņas nodošanai uz krastu.

Datu apmaiņas kanālam starp akumulatoru un stacionāro bloku izvēlēts *BlueToth* interfeiss – pietiekami ātrs un enerģijas taupīgs.

Seko struktūrshēmas sistēmas barošanā iesaistītās akumulatoru un stacionārā bloku daļām:

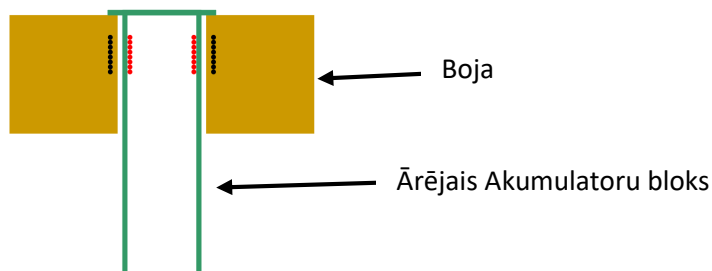




Bezvadu enerģijas sistēmas pārvades bezvadu komunikācijas sistēma

Bezvadu enerģijas kontroles un datu pārraides sistēma tiek realizēta izmantojot ESP32 mikrokontrolieri, kam ir iebūvēta Bluetooth un WiFi komunikācija. Šīs sistēmas realizācijā tiek izmantota tikai Bluetooth komunikācija. Lādēšanas statuss tiks parādīts ar LED diodi, kas būs izvietota ārējā akumulatora bloka augšpusē. Bojas un ārējā akumulatora bloka akumulatoru uzlādi, un izlādi, kā arī aizsardzību pret pārāk lielu bateriju uzlādi un izlādi nodrošina akumulatora balansēšanas un aizsardzības plate ZLA04. Akumulatora balansēšanas un aizsardzības plate ZLA04 ir ievietota gan bojā, gan ārējā akumulatora blokā.

Nākošajā attēlā ir parādīts bojas un ārējā akumulatoru bloka izvietojums.



Ārējā akumulatora blokā esošā Bluetooth ierīce periodiski skenē pieejamās ierīces un salīdzina ar iepriekš definētu ierīces identifikatoru. Kad tiek atrasts īstais identifikators, notiek bluetooth savienojuma

izveide starp boju un ārējo akumulatoru bloku. Boja nosūta komandu uzsākt vai apturēt bezvadu enerģijas pārraides sistēmas darbību. Ārējais akumulatoru bloks periodiski nosūta informāciju šādu informāciju:

- baterijas spriegums,
- baterijas izlādes strāva,
- bezvadu lādēšanas pieprasījuma komanda,
- esošais bezvadu enerģijas lādēšanas stāvoklis.

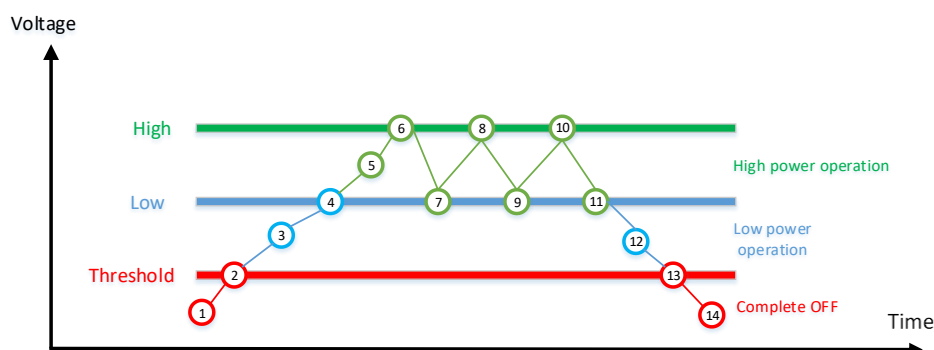
Sadalā izmantotie apzīmējumi

BT1- bojas Bluetooth vadības modulis;

BT2- ārējā akumulatoru bloka Bluetooth vadības modulis;

Detect- funkcija, kas bojā nomēra spriegumu aiz WPT moduļa un spēj detektēt vai ir pieslēgts ārējais akumulators.

Tālāk ir aprakstīts barošanas sistēmas darbības algoritms ar bezvadu barošanu un dota tā laika diagramma.



Algoritmā ir definēti šādi spriegumu līmeņi:

- **High**- maksimālais spriegums līdz kuram var uzlādēt iekšējo akumulatoru; strādā visa elektronika;
- **Low**- zemākais spriegums, pie kura var atļauties ģenerēt skaņu; strādā GSM un DETECT funkcija.
- **Threshold**- spriegums, ko nosaka akumulatora vadības sistēma (BMS)- tas atslēdz akumulatoru no slodzes.

Barošanas sistēmas darbības princips, kas iekļauj arī citu mezglu darbību:

Kad akumulatoru bloku (BT2) ievieto bojā ir iespējami šādi stāvokļi:

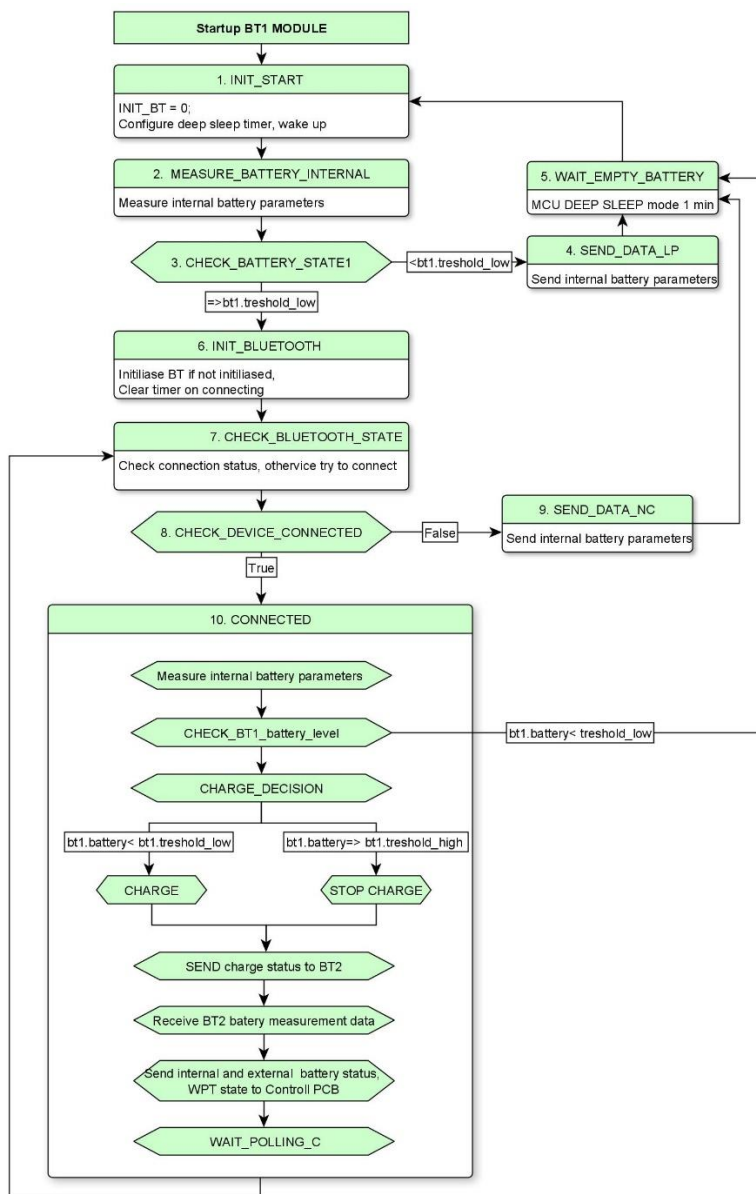
- Bojas iekšējā akumulatora spriegums zem BMS noteiktā sliekšņa (1).
 - Ārējais akumulatoru bloks uzsāk enerģijas pārraidi un uzlādē bojas iekšējo akumulatoru līdz stāvoklim (2)- dotajā brīdī ieslēdzas bojas vadības plate, kas spēj detektēt spriegumu pēc WPT moduļa un ieslēdz LED diodi šādi informējot lietotāju, ka notiek uzlādes process.

- Sasniedzot (4) ieslēdzas BT1 modulis un spēj savienoties ar BT2, lai tālāk kontrolētu akumulatora uzlādes procesu.
- Pēc punkta (4) sasniegšanas uzgaida vēl 10 minūtes, lai spriegums vēl palielinātos un ieslēdzās akustika un citas komponentes. WPT turpinās līdz sasniedz (6). Tad WPT drošības pēc tiek turpināta enerģijas pārraide vēl 10 minūtes un tad tiek atslēgta.
- Spriegums lēnām kritīs līdz (7), tad atkal ieslēdzas WPT (BT1 pieprasa to BT2), palielinot spriegumu līdz (8), utt.->(9)->(10)->(11).
- Pēc (11) ārējais akumulators ir izlādējies, atslēdzas akustika, BT2, BT1 atslēdzas.
- Intervālā (11)-(13) strādā DETECT funkcija, gaidot jaunā akumulatora parādīšanos.
- Process turpinās, līdz spriegums nokrīt līdz (13) un samazinās, pēc tam viss atslēdzas vai arī kamēr netiek ievietots jauns akumulators un turpinās lādēšana, kas ekvivalents punktam (3).

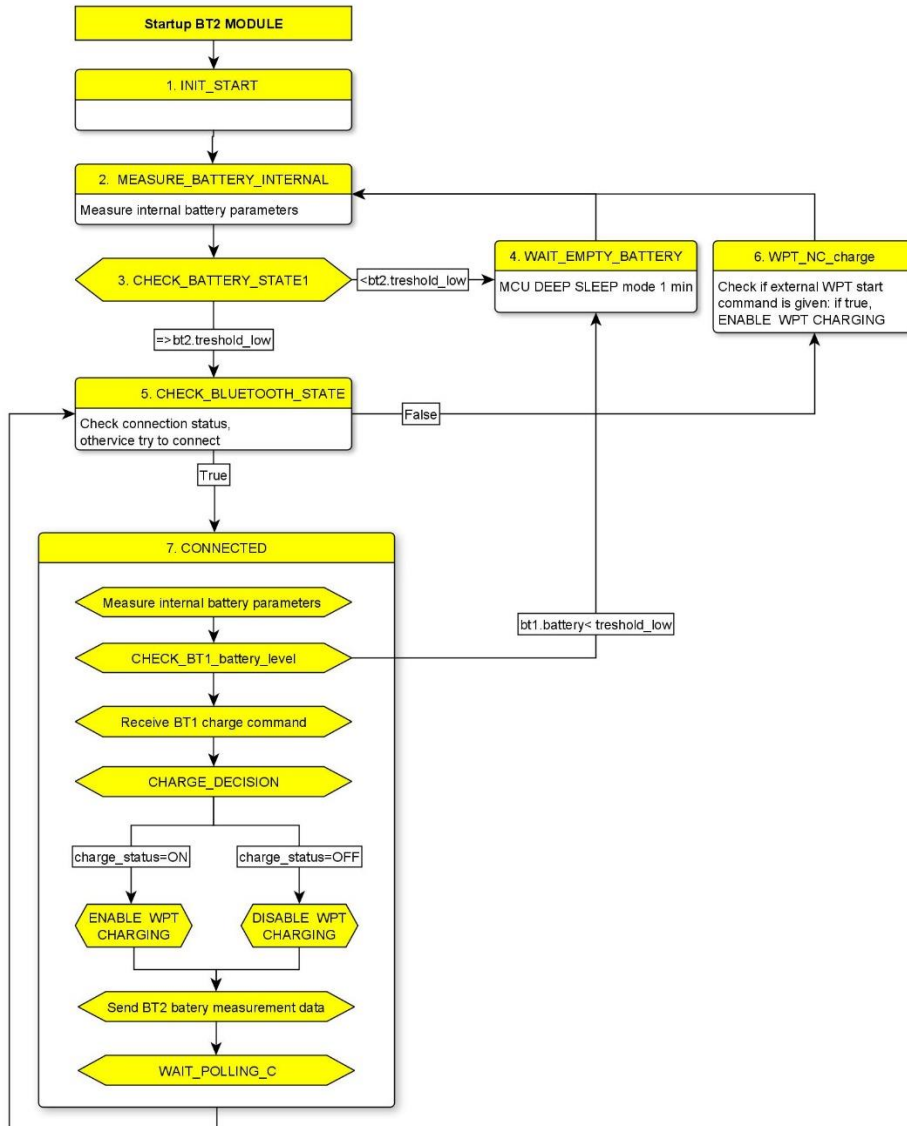
Veicot ārējā akumulatora bloka nomaiņu, lai uzsāktu bezvadu enerģijas pārvadi, ir paredzēts ar magnētisku atslēgu ieslēgt bezvadu enerģijas pārvadi. Tas ir nepieciešams tādēļ, ka var būt gadījumi, kad bojās akumulatori ir izlādējušies un bluetooth komunikācija tajā laikā nestrādā.

Nākošajā sadaļā ir parādīti bluetooth moduļu BT1 un BT2 darbības algoritms, algoritms ir izveidots galīga stāvokļa automāta koda veidā.

Vienkāršots Bluetooth moduļa BT1 darbības princips ir dots nākošajā attēlā. Tajā ir parādīts kādā secībā notiek ieslēgšanās, dziļais miegs, akumulatoru parametru mērīšana un darbības, kas tiek izpildītas, kad bluetooth savienojums ir izveidots.



Vienkāršots Bluetooth moduļa BT2 darbības darbības princips ir dots nākošajā attēlā.



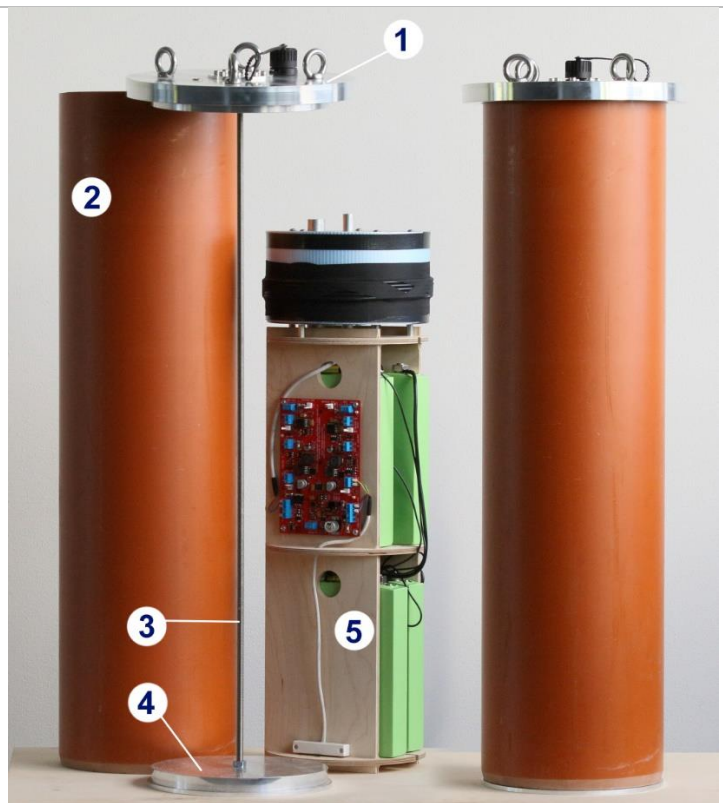
1.3. U1.3. Modulārā korpusa izstrāde akumulatoru blokam

Dotā darba uzdevuma ietvaros tiks izstrādāts modulārs akumulatoru bloka korpus.

Attēlā redzams maināmais akumulatoru bloks izjauktā un saliktā veidā:

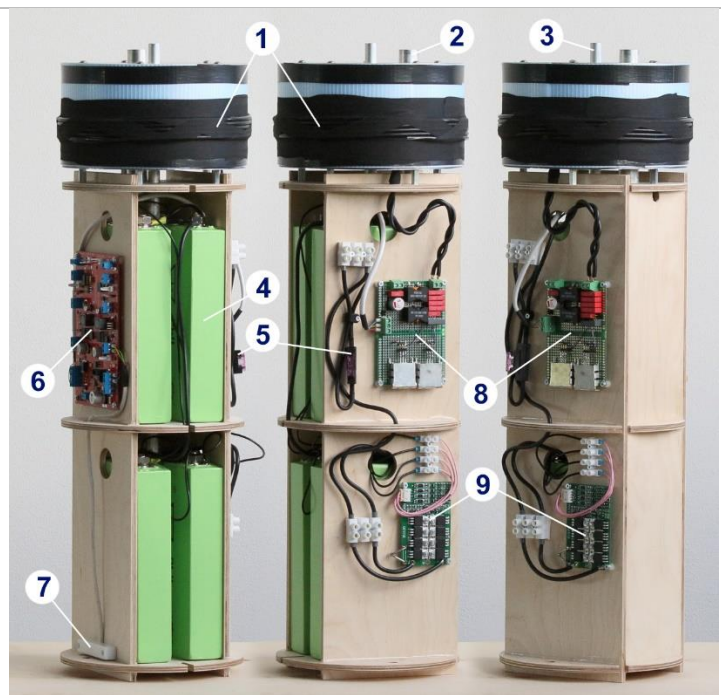
1. Augšējā vāka plāksne,
2. Cilindriskais korpus no ūdensvada caurules,
3. Vākus savelkošais skrūvstienis,
4. Apakšējā vāka plāksne,
5. Iekšējais korpus ar akumulatoriem un elektroniskajiem blokiem.

Izmērus – skat. pielikumos.

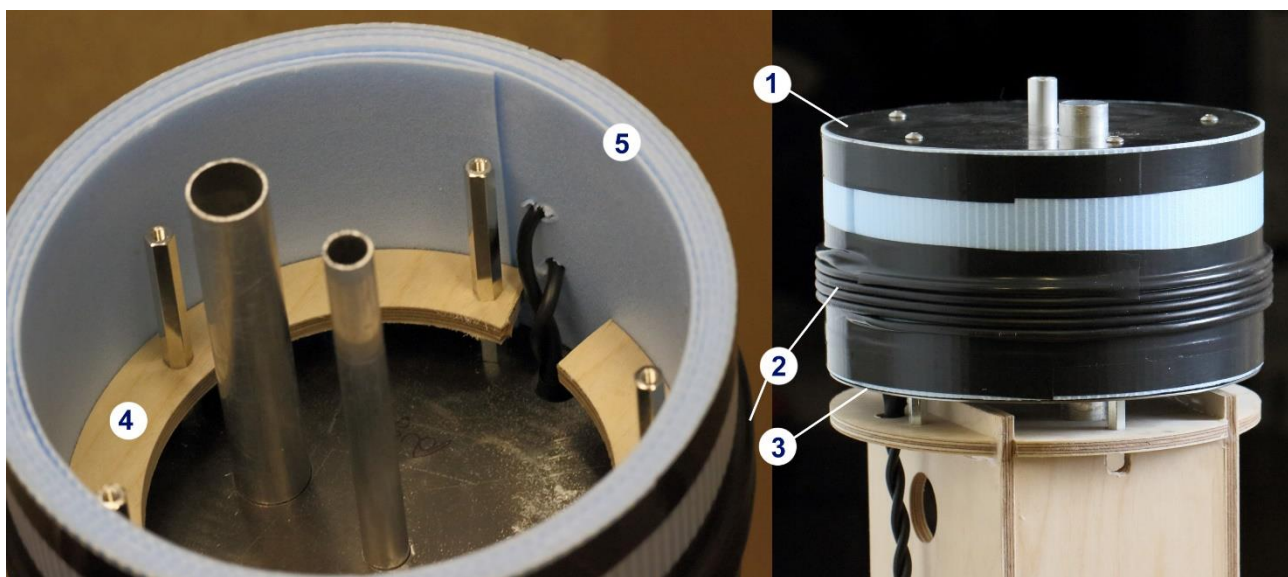


Iekšējā korpusa finiera karkasā ievietoti:

1. Raidošā spole
2. Caurule vadiem
3. Caurule skrūvstienim
4. Četri akumulatori
5. Kūstošais drošinātājs
6. Vadības plate
7. Mitruma devējs
8. Raidītāja ģenerators
9. Akumulatoru balasēšanas un aizsardzības plate.



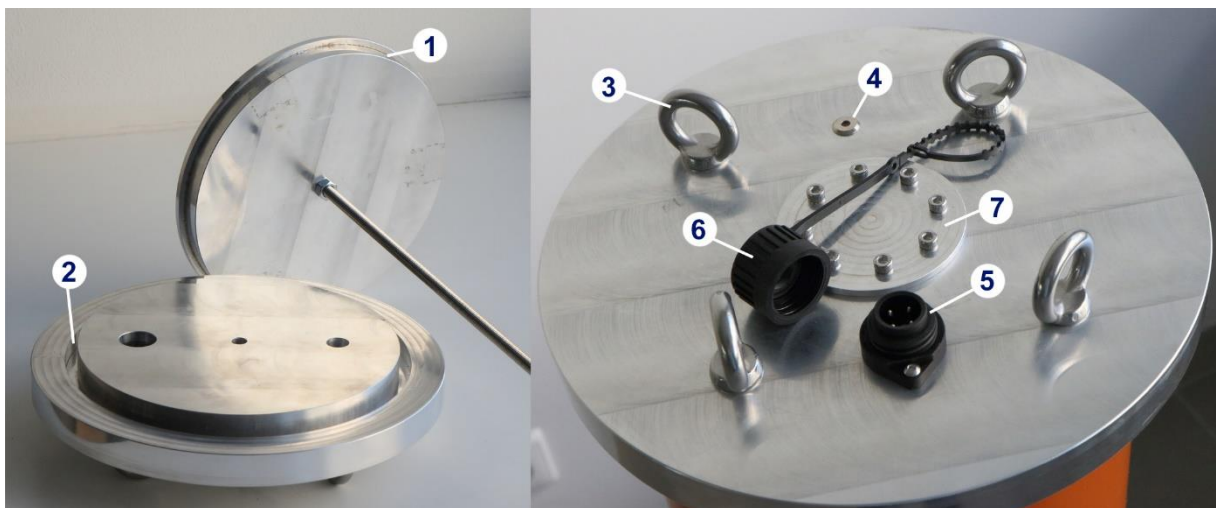
Nākošie attēli sīkāk paskaidro raidošās spoles konstrukciju. Spoli (2) veido 5 vijumi ar 4mm^2 šķērsriezuma vadu H07V-K (ražotājs *LietKabelis*). Tik liels šķērsriezuma laukums izvēlēts lai samazinātu zudumus spoles vada pretestībā (tā ir ap $20\text{m}\Omega$). Vads ir daudzdzīslu, tātad lokanāks, kas atvieglo spoles montāžu.



Spole atrodas starp magnētiski mīksts dzelzs plāksnēm (1) un (3), kas papildus mehāniskai funkcijai kalpo arī kā ekrāns, samazinot spoles magnētiskā lauka ietekmi uz vadības plašu elektroniku. Spoles karkasu veido finiera gredzeni (4) un ar slokšņveida plastikāta materiālu uztīts līdz vajadzīgajam diametram cilindrs (5). Attēlā redzamas arī alumīnija caurules. Tievākā, centrā – skrūvstienim. Resnākā – vadiem no bloka augšējā vāka uz akumulatoriem un vadības plati.

Vēl viens iemesls tik liela šķērsriezuma laukuma vada izvēlei ir t.s. skinefekts - parādība, kuru novēro vadā plūstot maiņstrāvai. Maiņstrāvas izraisītais magnētiskais lauks pašā vadā, rada virpuļstrāvas. Tās vada ass tuvumā ir vērstas maiņstrāvai pretējā virzienā, samazinot strāvas blīvumu. Savukārt vada virsmas tuvumā, maiņstrāvas un virpuļstrāvas virzieni sakrīt, strāvas blīvums pieaug. Parādība izpaužas jo spēcīgāk, jo augstāka ir maiņstrāvas frekvence. Piemēram, vara vadā, ar maiņstrāvas frekvenci 100kHz, visa strāva ir lokalizēta tikai 0,2mm biezā vada ārējā slānī.

Nākošajā attēlā – augšējais un apakšējais vāki, frēzēti no alumīnija plāksnēm. Tajos izveidotas gropes (1) un (2) caurules galiem. Lai uzlabotu blīvējumu, gropēs tiks ievietotas īpašas gumijas blīves un lietota ūdensizturīga silikona ziede. Savelkošais skrūvstienis ir fiksēts apakšējā vākā. Augšējā vākā tā gals kopā ar uzgriezni un blīvēm ir paslēpti zem noblīvēta vāciņa (7). Nerūsējoša tērauda cilpās (3) tiks ievīts virves rokturis bloka pārnēsāšanai. Gaismas diode blīvētā korpusā (4) indicēs bloka stāvokli. Caur spraudni (5) notiks akumulatoru uzlāde krastā. Starp uzlādēm to nosegs blīvēts vāciņš (6).

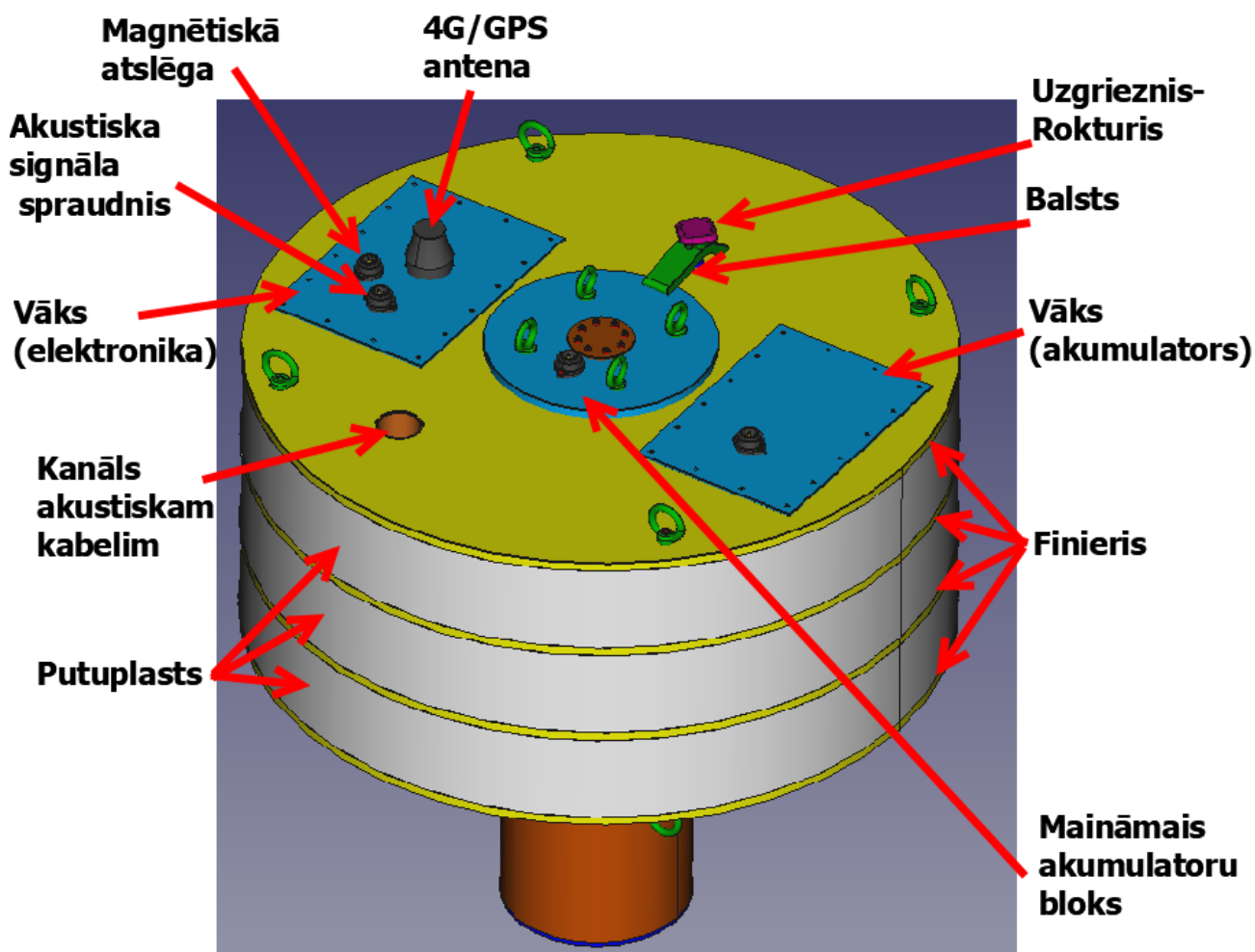


1.4. U1.3. Modulārā korpasa izstrāde

Dotā darba uzdevuma ietvaros tiks izstrādāts modulārs sistēmas korpuss.

Darba uzdevuma realizācija iekļauj sevī tehnisko prasību definēšanu korpusam, balstoties uz sadarbības partnera deleģētā konsultanta ieteikumiem, elektroniskās daļas izmēriem/svaru un jaunās funkcionalitātes atbalsta prasībām. Specializētā programmatūrā tiks izstrādāts iekārtas korpasa modelis, veikta tā mehānisko parametru izpēte un modelēšana. Balstoties uz iegūtajiem modeļiem tiks veikta korpasa realizācija laboratorijā.

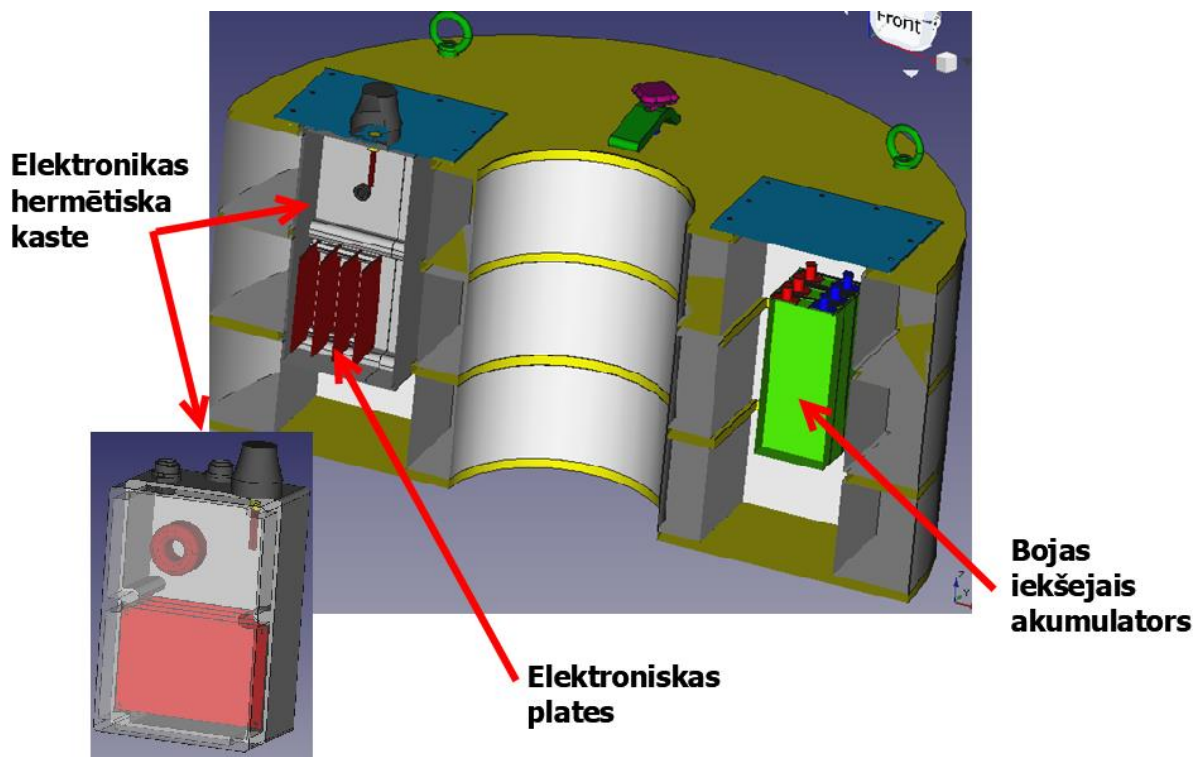
Viens komplekts konstruktīvi sastāv no bojas un diviem maināmiem akumulatoru blokiem. Bojas korpuss tika uzbūvēts no trim XPS ekstrudētā putupolistirola loksņēm (ar biezumu 100mm). Konstruktijas stiprināšanai starp tiem ir finieris. Maināma akumulatora bloka fiksācijai tika izmantots dūralumīnija balsts, kas ir piespiests ar uzgriezni-rokturi.





Korpusā ir divi nodaļījumi: vienā atrodas neliels buferizācijas akumulators, otrā - funkcionāla elektronika. Iespējamās plātes drošākai hidroizolācijai tika ievietoti plastmasā kastē.

Uz elektronikas nodaļījuma vāka ir komunikācijas antena, magnētiskā atslēga un akustiskā signāla spraudnis. Magnētiskā atslēga konstruktīvi izpildīta CA3GC spraudņa korpusā. Starp diviem kontaktiem tika piestiprināts herkons un telpa aizpildīta ar sveķi. Spraudņa vāciņā ir ielīmēts neliels magnēts. Akustiskā signāla spraudnim ir četri kontakti. Pirmais pāris tika izmantots skaļruņa pieslēgšanai, bet otrais ģenerators barošanas sprieguma komutācijai (kad kontakti nav savienoti ģenerators barošana nenotiek).



Konstrukciju elementu rasējumi tika doti pielikumā 6.

1.5. U1.4. Šaurjoslas zemūdens akustiskā raidītāja integrēšana sistēmā

Darba uzdevuma ietvaros tiks izstrādāts shemtehniskais risinājums, kas ļauj integrēt sistēmā šaurjoslas zemūdenens akustisko raidītāju. Dotā raidītāja izmantošana sniedz potenciālās priekšrocības, fokusējot raidāmos atbaidīšanas signālus nepieciešamās frekvencēs, nofiltrējot nelietderīgo signālu ārpus raidīšanas joslas, kas ļauj palielināt signālu izplatīšanas attālumu, līdz ar to arī iekārtas efektīvās iedarbības rādītājus.

Izstrādes procesā tiks realizētā šaurjoslas raidītāja ekvivalentā modeļa izstrāde un modelēšana, parametru noteikšana, salāgošanas ķēdes izstrāde un testēšana laboratorijas apstākļos.

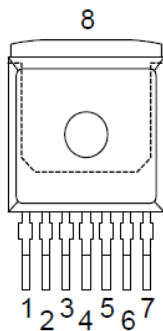
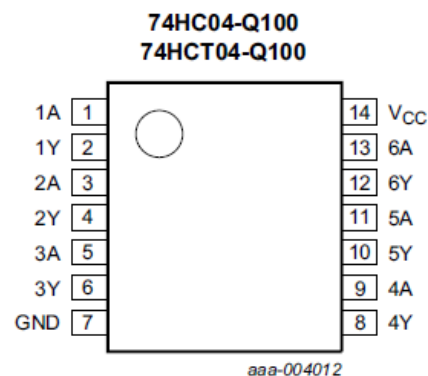
Tāpat nolēmām tilta draiverus likt iekšā kopējā platē. Gan ķīniešu IBT-2 platē esošie BTS7960, gan tālāk izvēlētie BTN8982 ir no vienas Infineon saimes, pinu savietojami. Konkrēto BTN8982 izvēlējos dēļ mazākas on-state pretestības:

	Pie 25°/ 150° C [mΩ]	I limit [A]
BTS7960	16 / 30,5	43
BTN8982	10 / 20,4	55

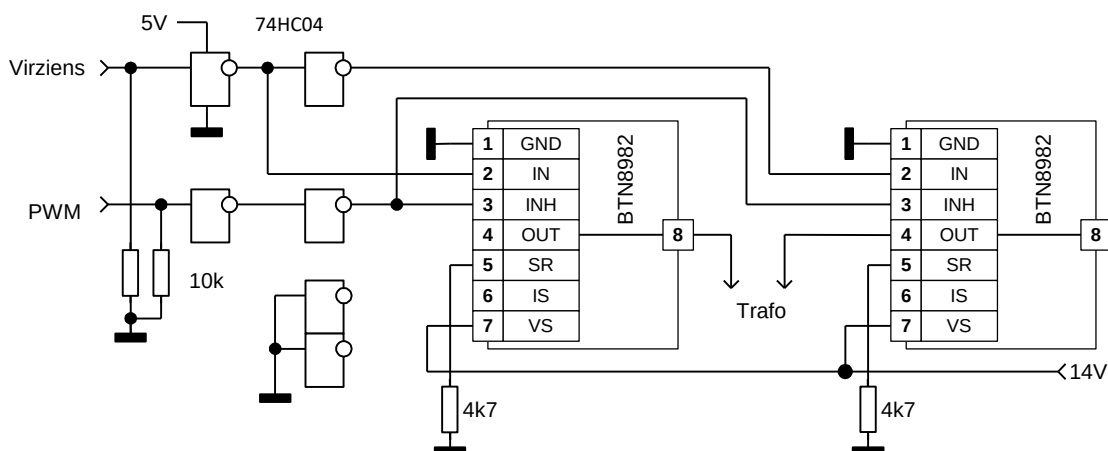
Bez tam BTN8982 aiztures/pārslēgšanās laiki ir arī uzstādāmi ar ārēju rezistoru un ir 2-3 reizes īsāki, nekā vecajam - varētu sagaidīt mazākus zudumus siltumā.

Vēl modulī IBT-2 vadības signālu buferēšanai ir SN74AHC244 mikroskāma (8 buferi bez inversijas).

Jaunajā slēgumā man vajag vienu invertoru (virzienu signālam). Un katram gadījumam noderētu arī buferis (virziena un PWM signāliem). Ne tāpēc, ka Arduino nespētu vadīt BTN8982 tieši, bet tikai papildus drošībai - ja tilta shēmās rodas problēma - lai to nesajūt Arduino. Tāpēc izvēlējos 74HC04D (6 invertori SOIC-14 korpusā).



Pin	Symbol	I/O	Function
1	GND	-	Ground
2	IN	I	Input Defines whether high- or lowside switch is activated
3	INH	I	Inhibit When set to low device goes in sleep mode
4,8	OUT	O	Power output of the bridge
5	SR	I	Slew Rate The slew rate of the power switches can be adjusted by connecting a resistor between SR and GND
6	IS	O	Current Sense and Diagnostics
7	VS	-	Supply



Vēršu uzmanību:

1. Draiveriem izeja ir gan 4. izvads gan arī lielais bleķis.
2. Draiveru tuvumā derētu kādus keramiskus un elektrolīta kondensatorus (piem 100nF un 100μF vismaz 25V).
3. TO263 korpuss, protams, lodējams pie plates. Zem korpusa metāla daļas - pēc iespējas daudz viju. Un vēl derētu abpus blakus esošajiem draiveriem caurumus platē M3 skrūvēm - ar tām savilksim alumīnija plāksnes zem un virs plates, kas kalpos kā radiators.

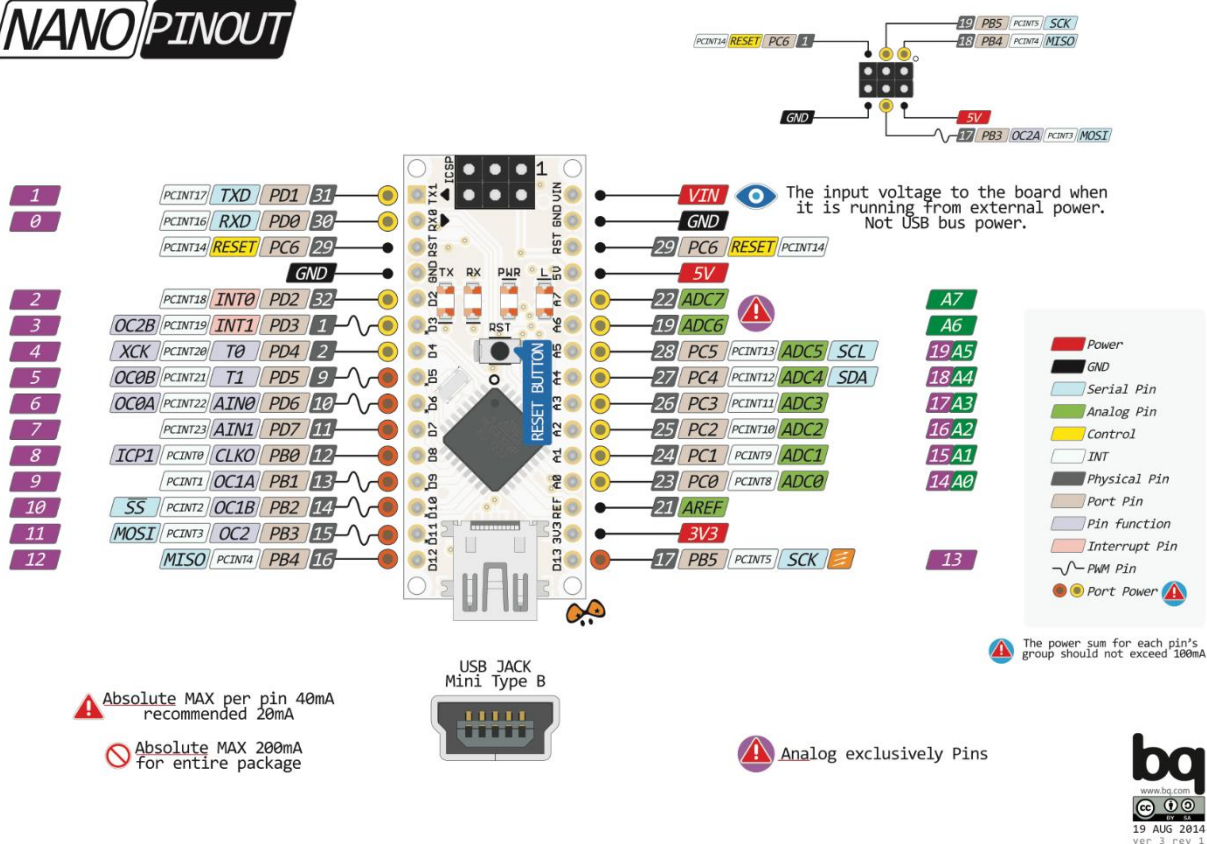
Šobrīd Arduino Nano pieslēgumi ir šādi:

- D5 izeja - PWM uz draiveriem
- D6 izeja - Virziens (meandrs ar attiecīgo frekvenci) uz draiveriem
- A0 ieeja - spriegums 0-5V frekvence
- A1 ieeja - spriegums 0-5V PWM

Cerams, gala variantā Nano darīs visu (resp. ģenerēs imlusus, pauzes, frekvences). Bet testiem derētu arī iespēja "manuāli" vadīt frekvenci un PWM. Tāpēc lūdzu:

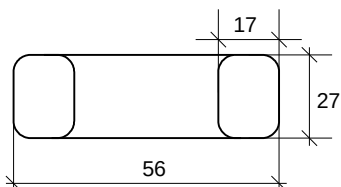
- A0 un A1 ieejām netālu ielikt 2,5mm 2 kontaktu pinus (signāls un GND)

NANO PINOUT



Transformatora izmēri

Skicē - uztīta transformatora izmēri [mm]. Platē pietiks ar 2 kontaktu skrūvklemmi (primārajam tinumam). Sekundāro savienosim ar izejas štekera kontaktiem tieši (resp. caur mazu atsevišķu skrūvklemmi).

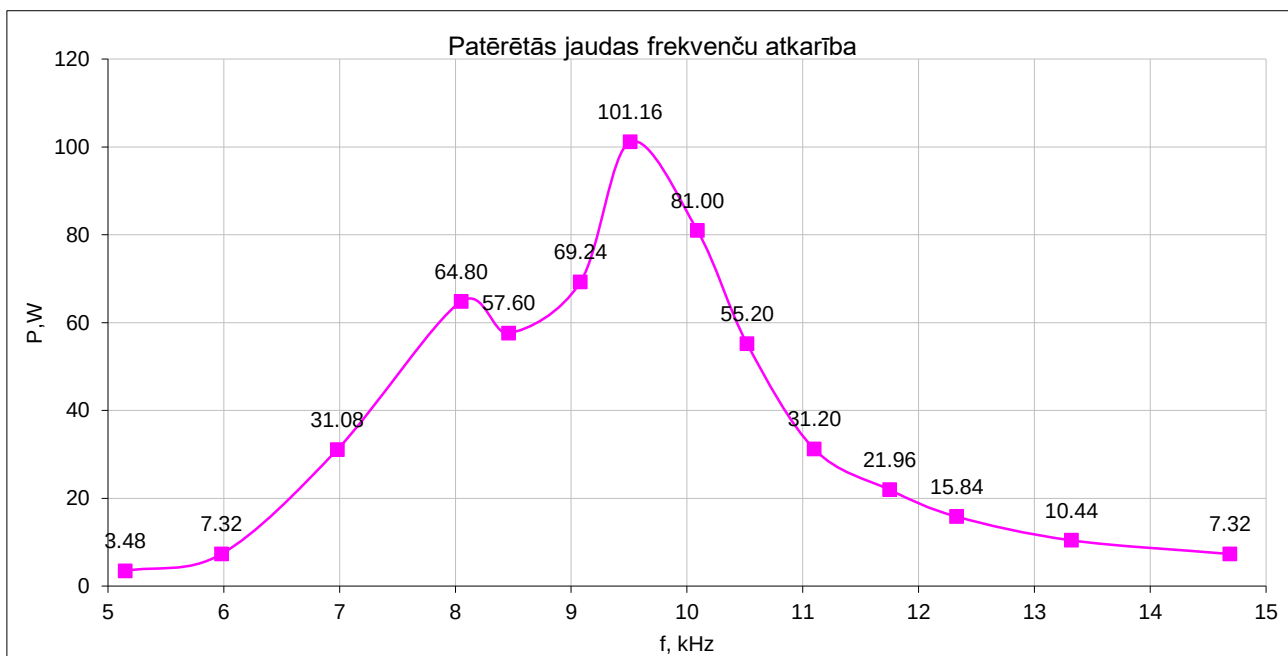


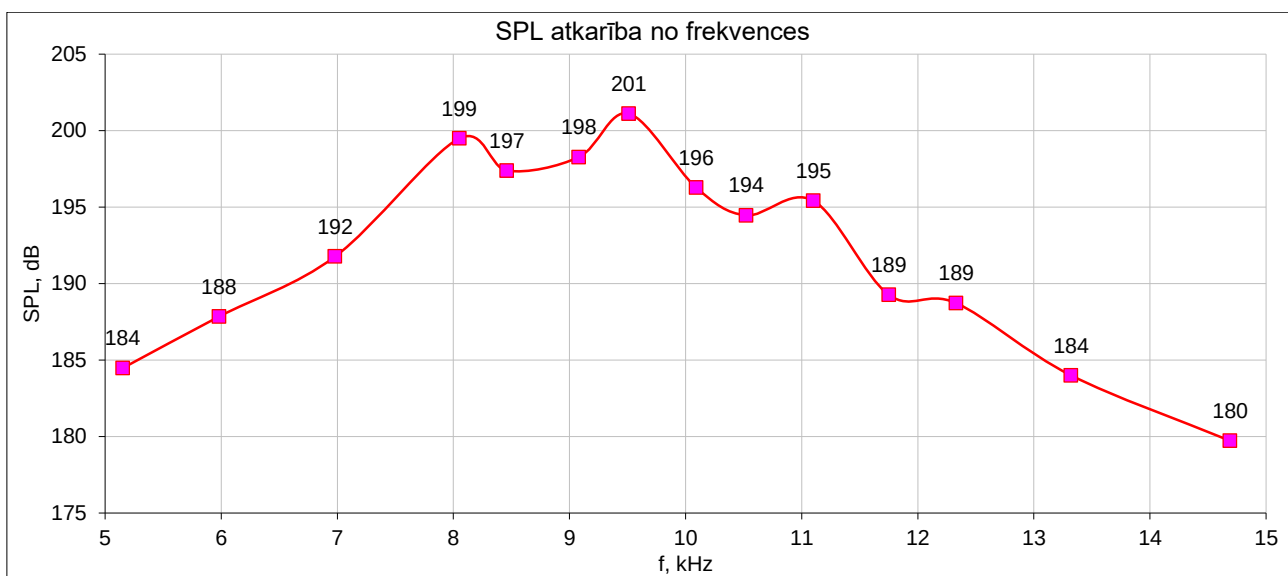
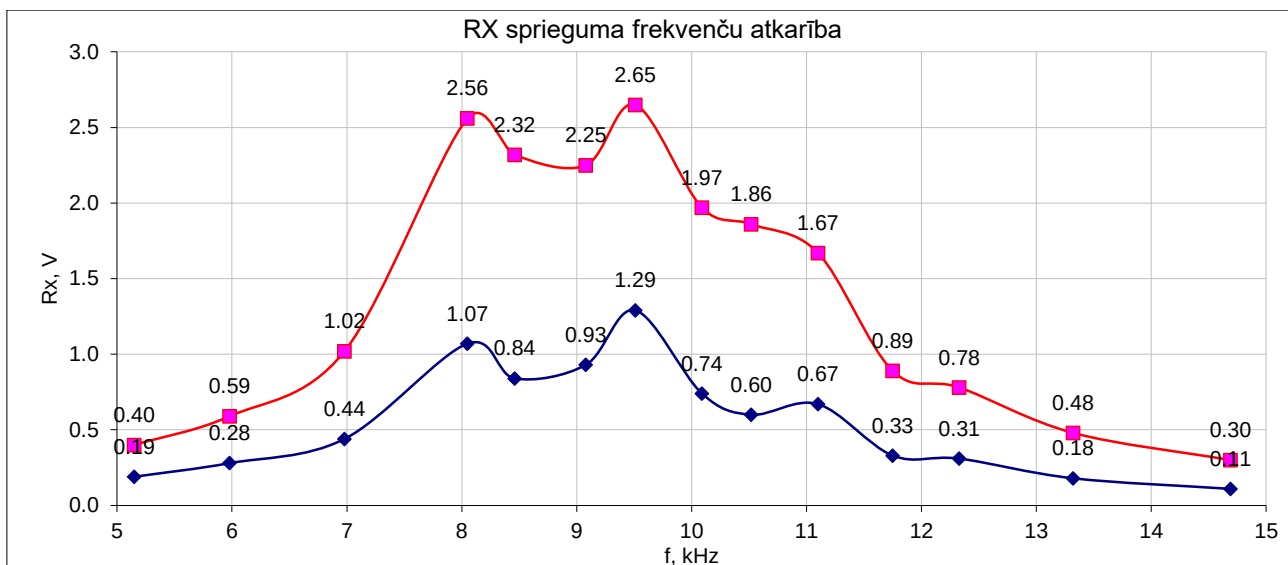
Zemūdens akustisko raidītāju testēšanas dati

Projekta ietvaros tiks izmantoti specifiskie zemūdens akustiskie pārveidotāji, kas spēj fokusēt lielu akustisko spiedienu šaurā frekvenču joslā. Izmantojot hidrofonu tika veikta jauna tipa pjezoelektrisko pārveidotāju testēšana ar mērķi noteikt to atbilstību uzstādītiem raksturojumiem.

Testēšanas rezultāti ir apkopoti tabulā.

Frekvenču līkne							
Dziļums	2	m					
Jauda	max						
Attālums	20	m					
f [kHz]	Strāva no 12v [A]	Jauda no 12V [W]	Rx max [V]	Rx aver [V]	SPL avg 20m [dB]	SPL avg 1m [dB]	SPL max 1m [dB]
5.15	0.29	3.48	0.40	0.19	184	203	210
5.98	0.61	7.32	0.59	0.28	188	207	213
6.98	2.59	31.08	1.02	0.44	192	211	218
8.05	5.40	64.80	2.56	1.07	199	218	226
8.46	4.80	57.60	2.32	0.84	197	216	225
9.08	5.77	69.24	2.25	0.93	198	217	225
9.51	8.43	101.16	2.65	1.29	201	220	226
10.09	6.75	81.00	1.97	0.74	196	215	224
10.52	4.60	55.20	1.86	0.60	194	213	223
11.10	2.60	31.20	1.67	0.67	195	214	222
11.75	1.83	21.96	0.89	0.33	189	208	217
12.33	1.32	15.84	0.78	0.31	189	208	216
13.32	0.87	10.44	0.48	0.18	184	203	212
14.69	0.61	7.32	0.30	0.11	180	199	207





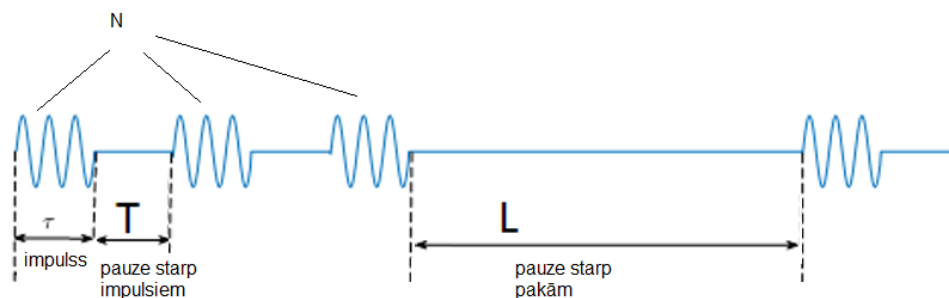
1.6. U1.5. Sistēmas komponentu salikšana un testēšana

Dotā darba uzdevuma ietvaros iepriekšējos posmos izstrādātie tehniskie risinājumi tiks integrēti vienotā sistēmā, salikti korpusā un veikta to testēšana laboratorijas apstākļos, pārbaudot atbilstību specifikācijā norādītiem parametriem, savietojamību un veicot padziļinātu iespējamo bojājumu analīzi un papildus drošības risinājumu ieviešanu.

1.7. Signālu ģenerators

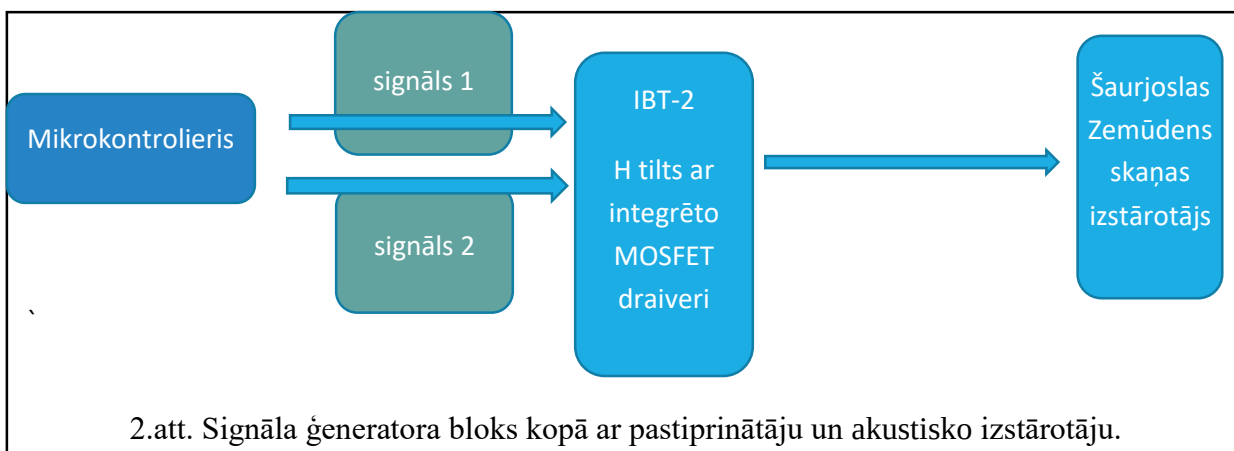
Signālu ģenerators ir vajadzīgs, lai ģenerētu roņu atbaidīšanas signālus. Tas ir lielākoties atkārtoto projektā "Paplašinātās funkcionalitātes lieljaudas zemūdens akustiskā raidītāja izstrāde roņu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas piekrastes zvejā" izstrādāto signālu ģeneratoru un balstās uz tajā izdarītajiem zinātniskajiem atzinumiem. Tāpēc šajā sadaļā tiks pieminēti tikai būtiskāki un atšķirīgāki momenti.

1.attēlā ir shematiski ir parādīts nepieciešamais Roņu atbaidīšanas signāls. Tās sastāv no N sinusoidālajiem impulsiem ar garumu τ , kas ir sadalīti ar pauzes starp impulsiem T , pēc kuriem seko pauze starp impulsiem L . Atšķirībā no iepriekšēja ģenerators, vairs nav vajadzīgs ģenerēt lēzenās frontes impulsu sākumā un beigās, jo tiks izmantots šaurjoslas starotājs, kas savukārt nodrošina to, ka nerādīsies nevēlamās zemās harmonikas. Līdz ar to nav nepieciešamības ģenerēt Hanna logu impulsu sākumā un beigās.



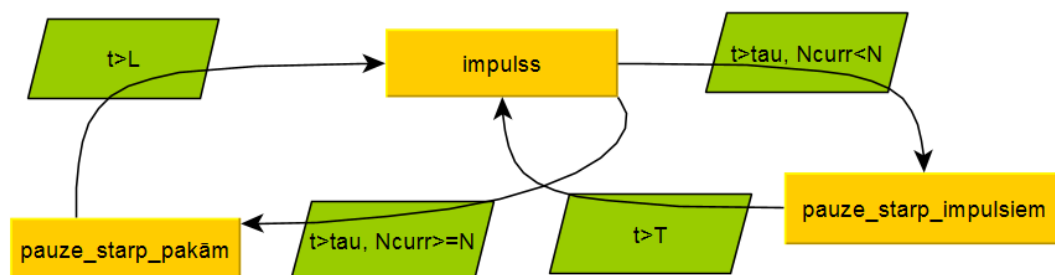
1.att. Roņu atbaidīšanas signāls.

Signālu ģenerators shēma kopā ar pastiprinātāju un izstarotāju ir parādītā 2.att. un tā sastāv no mikrokontroliera, kas ģenerē nepieciešamos signālus, H-tilta ar integrēto vadības draiveri un zemūdens šaurjoslas skaņas izstarotāju.



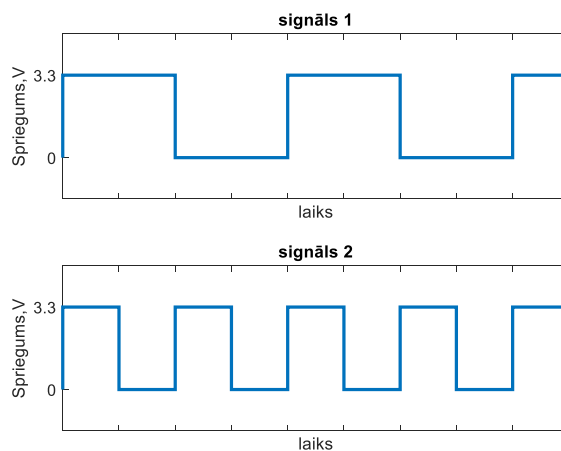
Signālu ģenerators ir uzbūvēts uz ESP32 mikrokontroliera bāzes atšķirībā no iepriekšējās versijas, kura tas tika balstīta uz Arduino Uno mikrokontroliera bāz. Tāpēc programma tika pārrakstīta no jauna un realizētā kā stāvokļu automāts 3.att. Stāvokļu automātam ir trīs stāvokļi:

- impulss
- pauze_starp_impulsiem
- pauze_starp_pakām



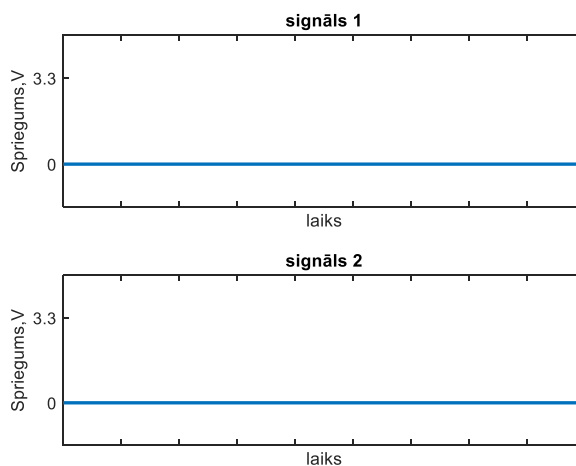
3.att. Stāvokļu automāts un nosacījumiem stāvokļu maiņai. Apzīmējumi – t laiks kas pagāja no katra stāvokļa sākumā, Ncurr – tekošais impulsu skaits pakā, dzeltenais – stāvokļi, zaļš – nosacījumi stāvokļa maiņai.

Mikrokontrolieris stāvoklī "impulss" ģenerē speciālus vadības signālus priekš H – tilta vadības. "signāls 1" pārslēdz H-tilta plecus (sekošanas frekvence uzdot impulsa frekvenci), bet ar "signāls 2" samēru regulē izejas signāla skaļumu (frekvence divreiz lielākā).



4.att. Mikrokontroliera ģenerētie signāli stāvoklī "impulss".

Citos stāvokļos mikrokontrolieris rada signālu kas parādīts 5.att.



5.att. Mikrokontroliera ģenerētie signāli stāvoklī "pauze_starp_impulsiem" un "pauze_starp_pakām".

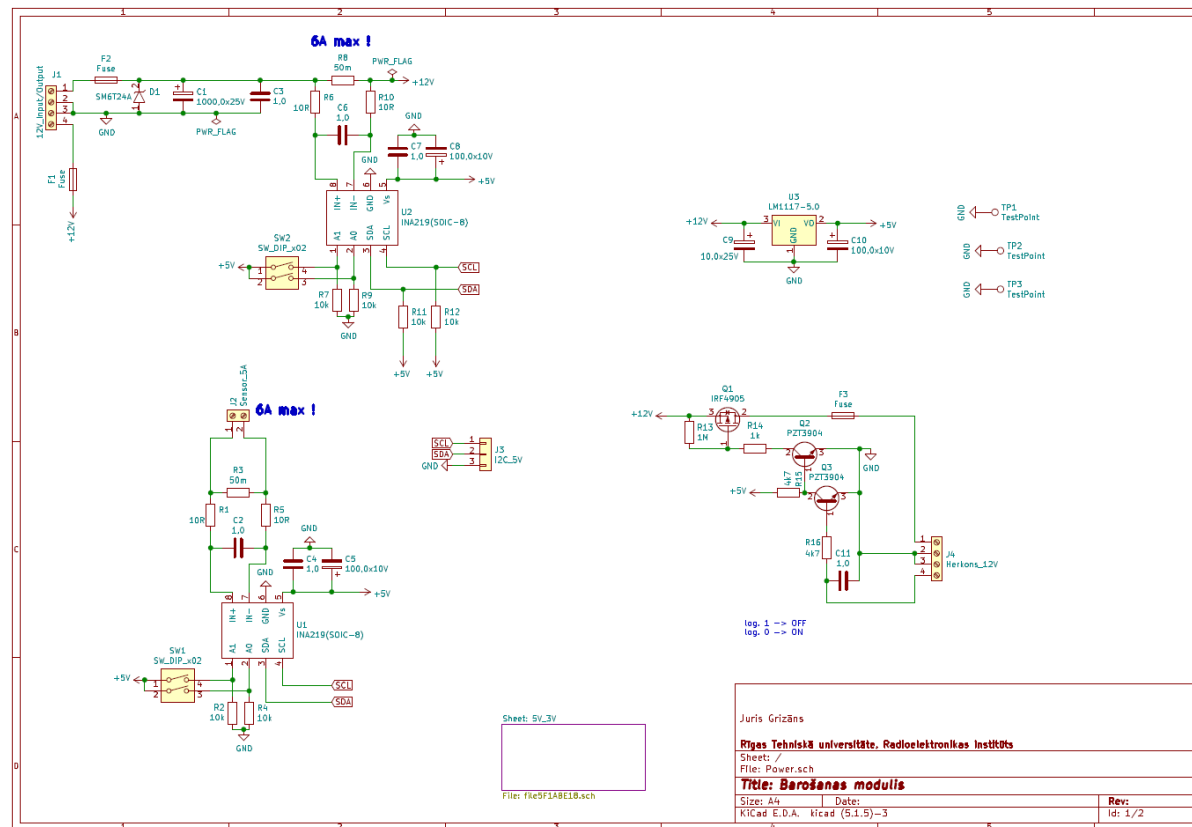
Lai ģenerētu signālu mikrokontrolierim tiek uzstādīti sekojošie parametri:

- impulsu frekvence $[63-255] \cdot 64 \text{ Hz}$
- impulsa ilgums $\tau [1-255] \cdot 10 \text{ ms}$
- darba ciklu $[1-99]$ (attiecība $\tau/(\tau+T)$)
- skaļumu (10-90%)

- impulsu skaita pakāpi
- režīmu kā mainās frekvence impulsu pakā
- gadījumskaitļa impulsu frekvenci (0,1)
- pauzes starp impulsu pakām [1-255] s
- gadījumskaitļa pauzi starp impulsu pakām (0,1)

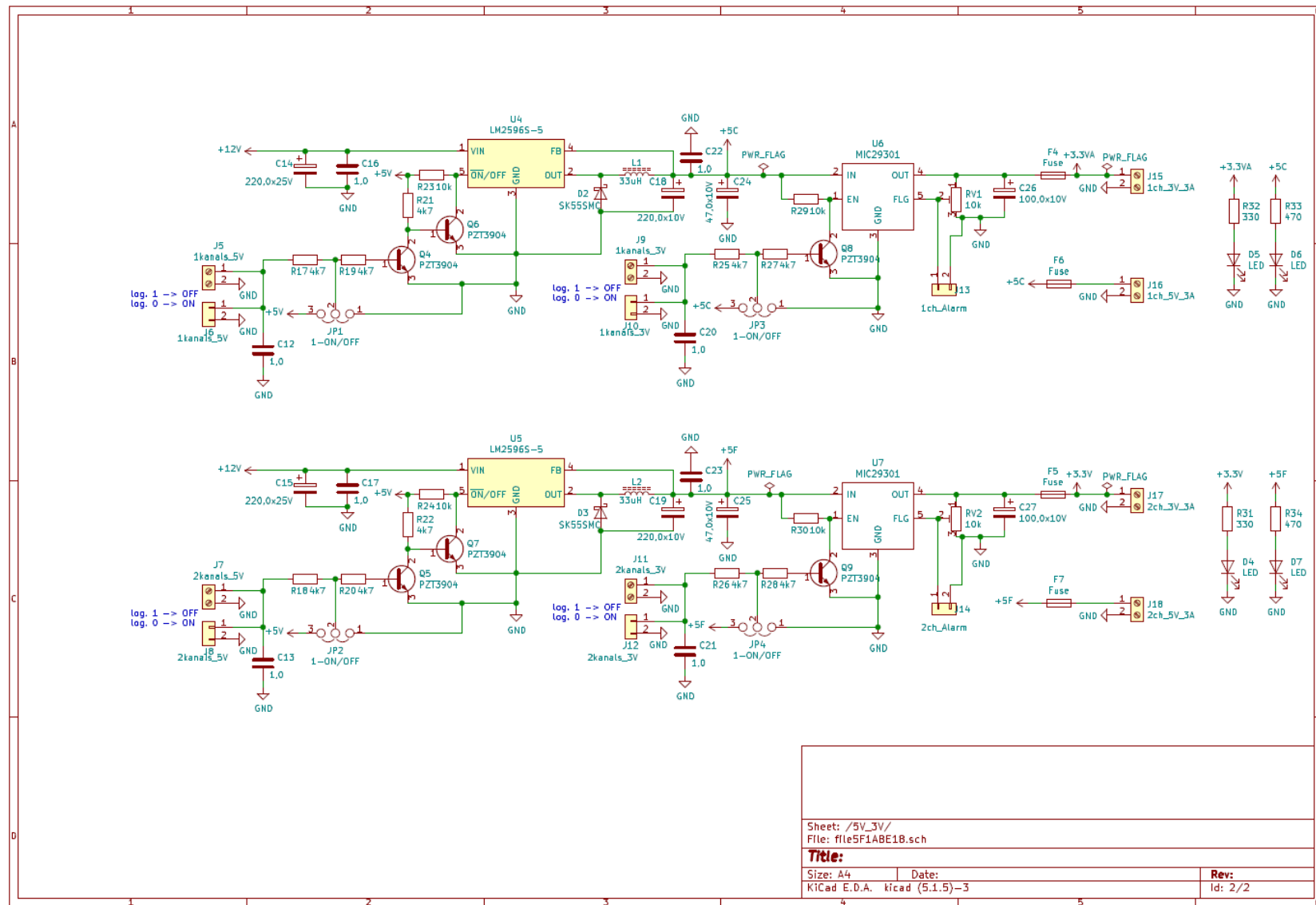
Dotie parametri tiek saglabāti mikrokontroliera flash atmiņā, un ielasīti katru reizi pie ieslēgšanas. Nepieciešamības gadījumā tie var tikt pārrakstīti caur sakaru kanālu.

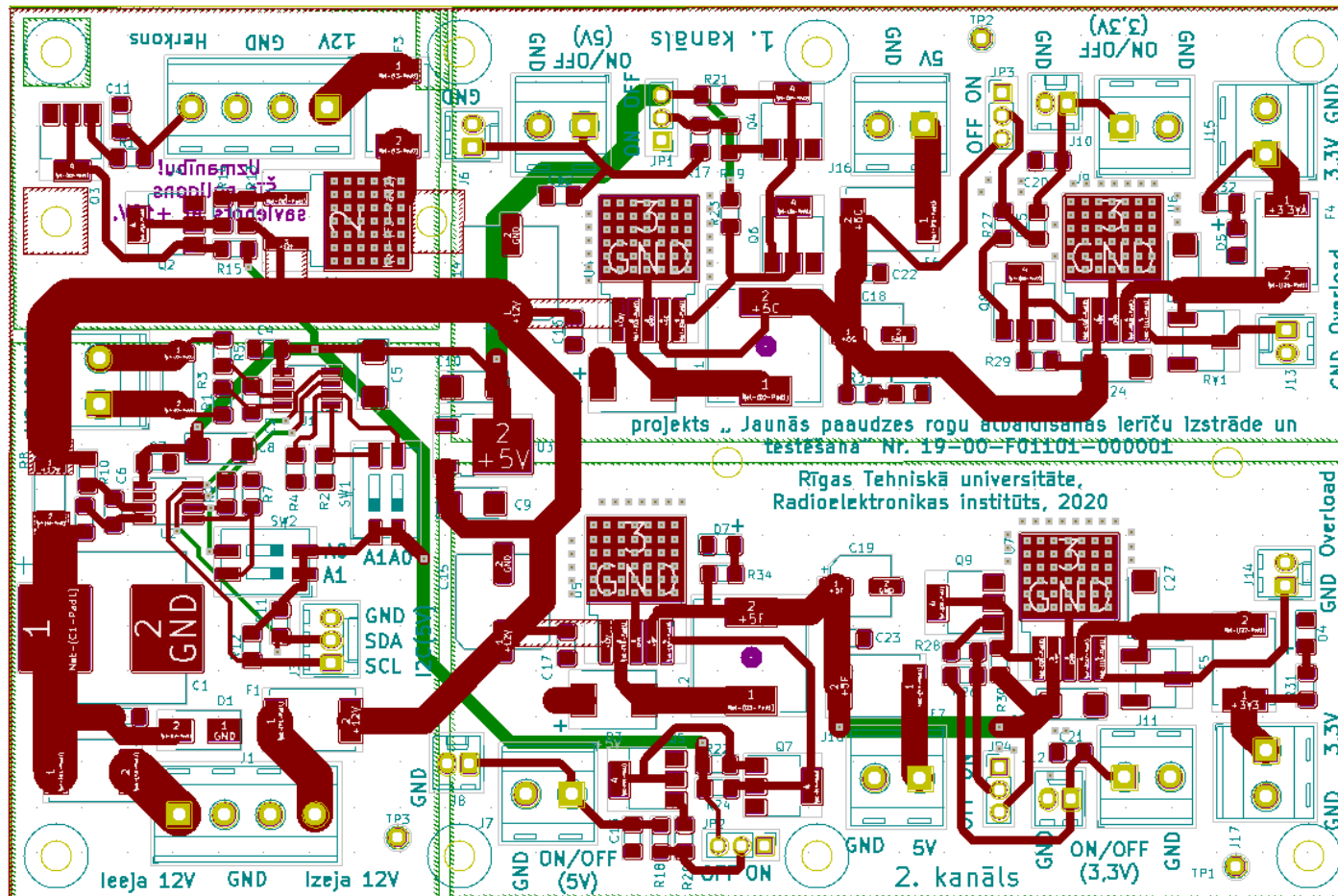
Barošanas moduļa principiālā shēma un plates celiņi (poligoni netika parādīti)



September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001

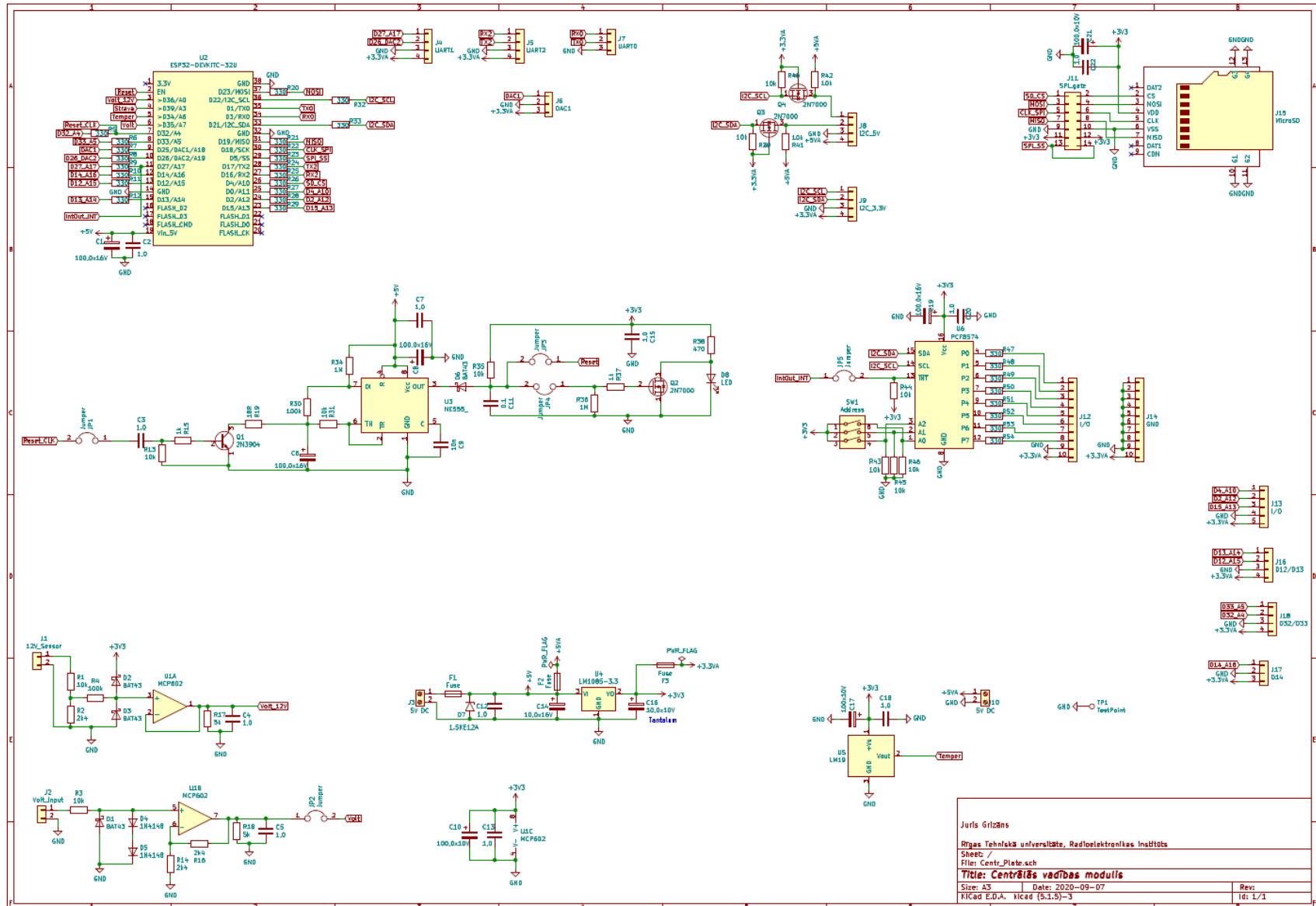


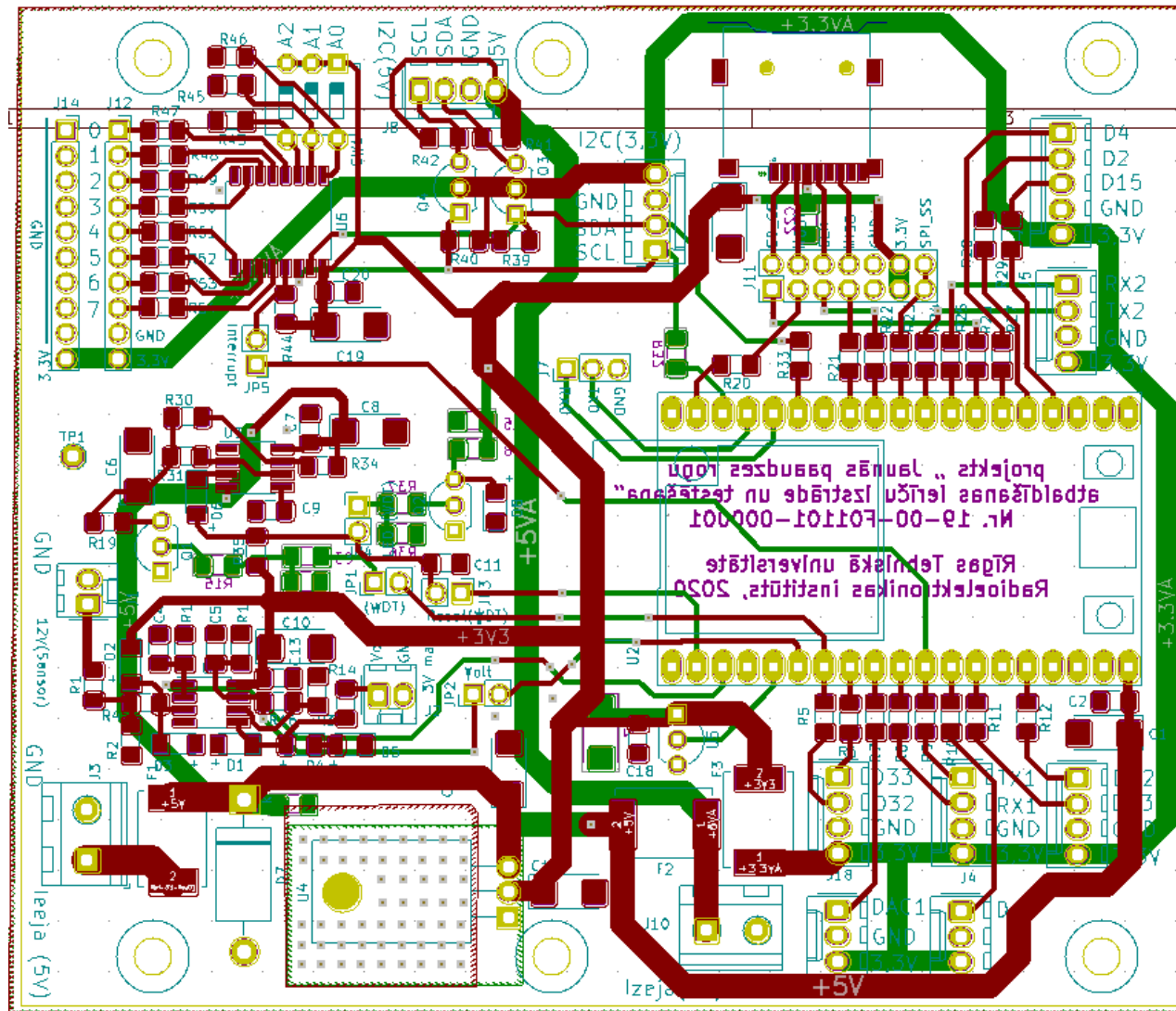




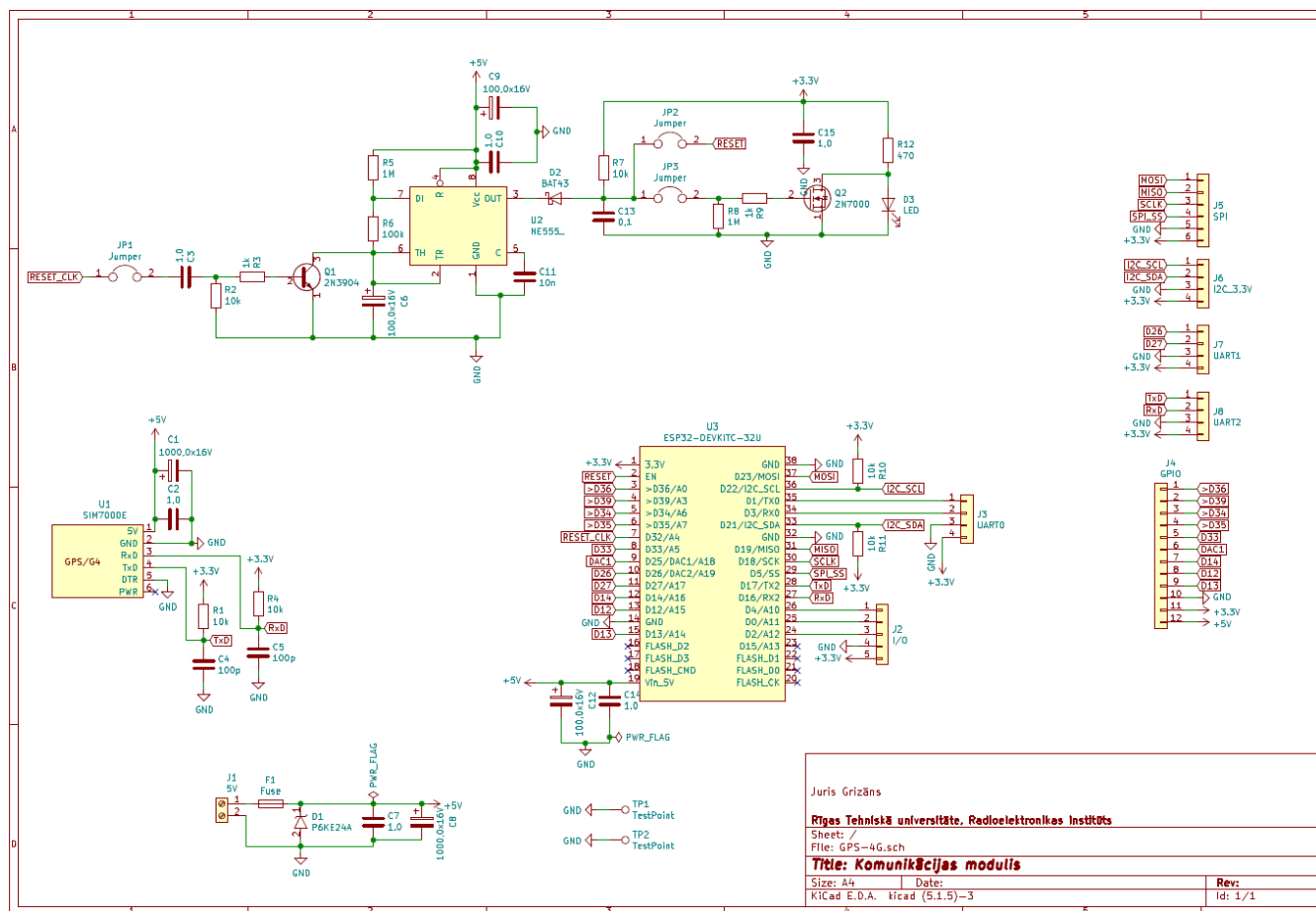
September 1, 2020

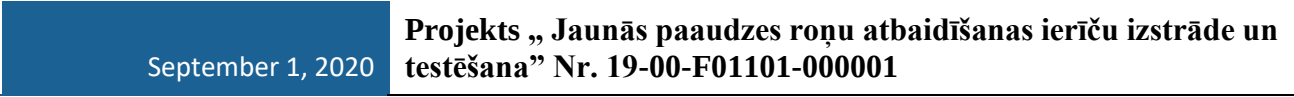
Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



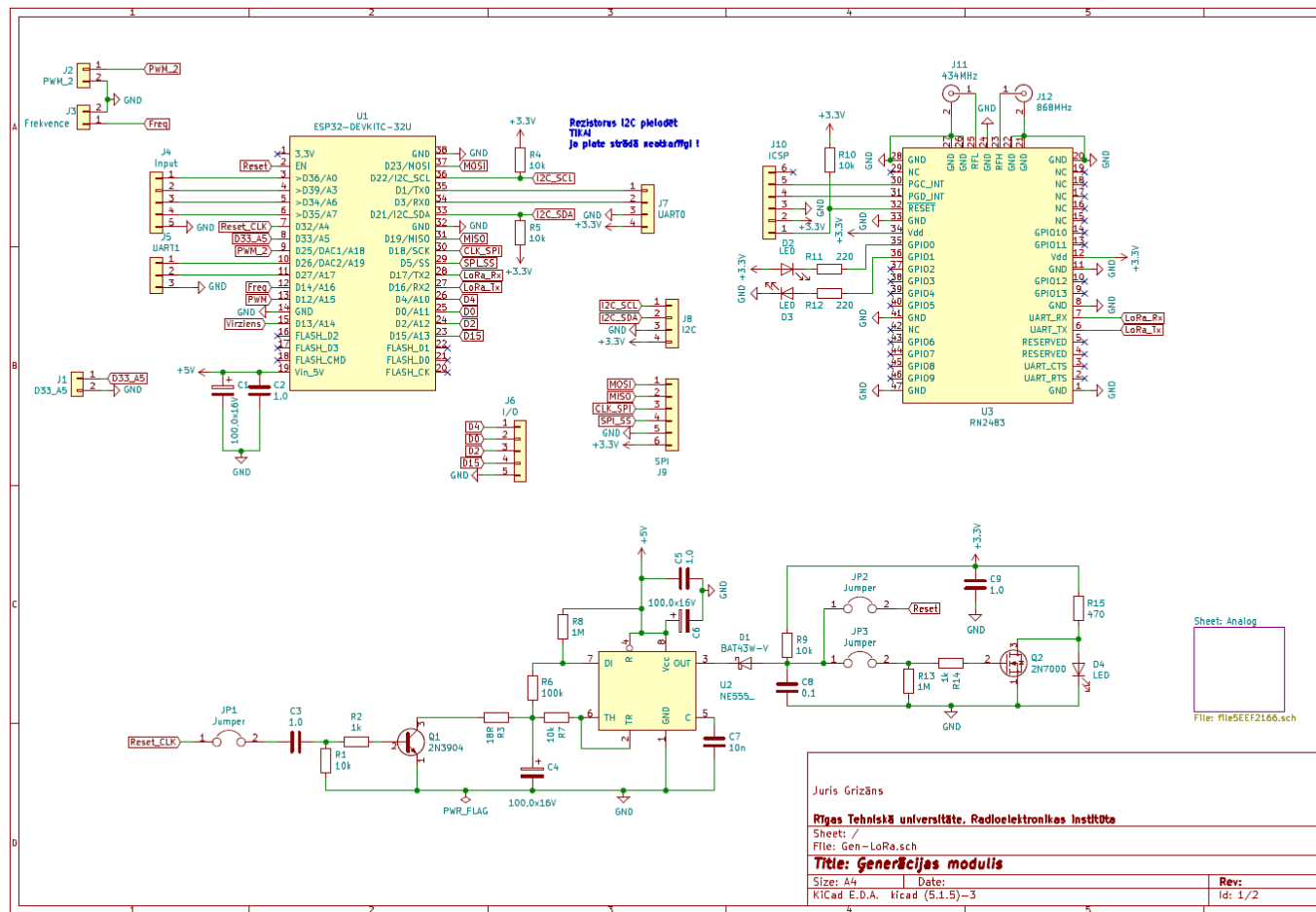


Komunikācijas moduļa principiālā shēma un plates celiņi (poligoni netika parādīti)



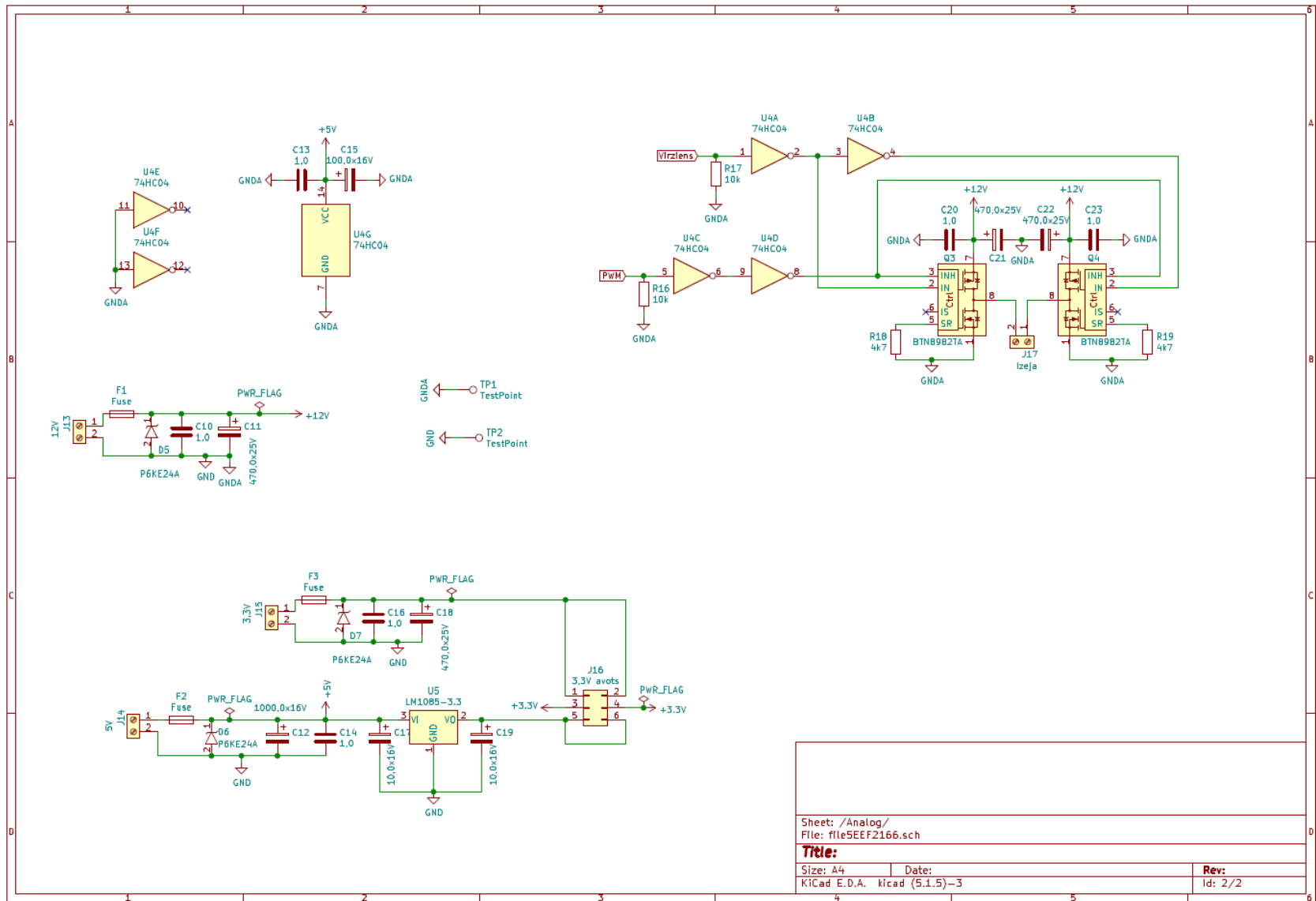


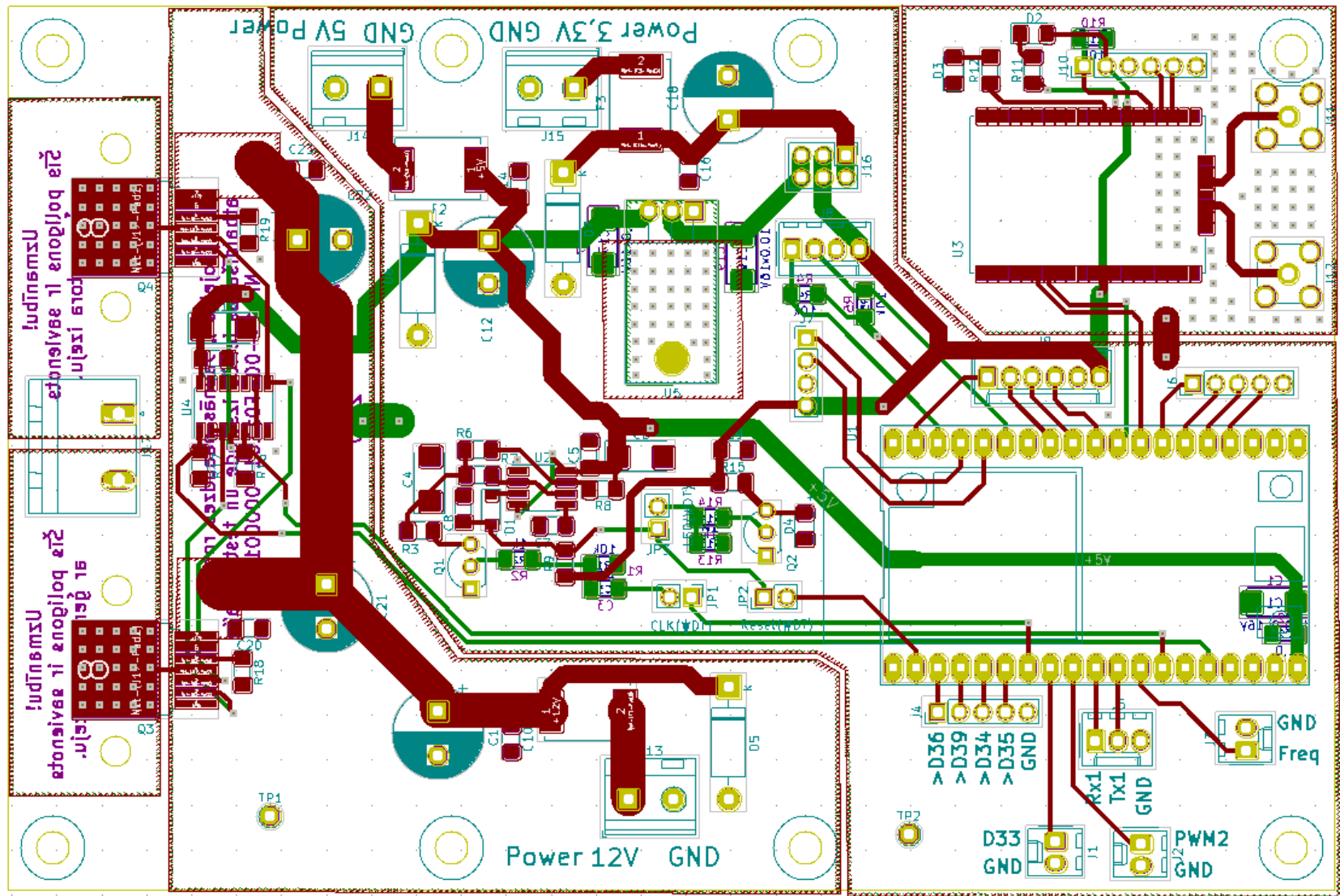
Ģenerācijas moduļa principiālā shēma un plates celiņi (poligoni netika parādīti)



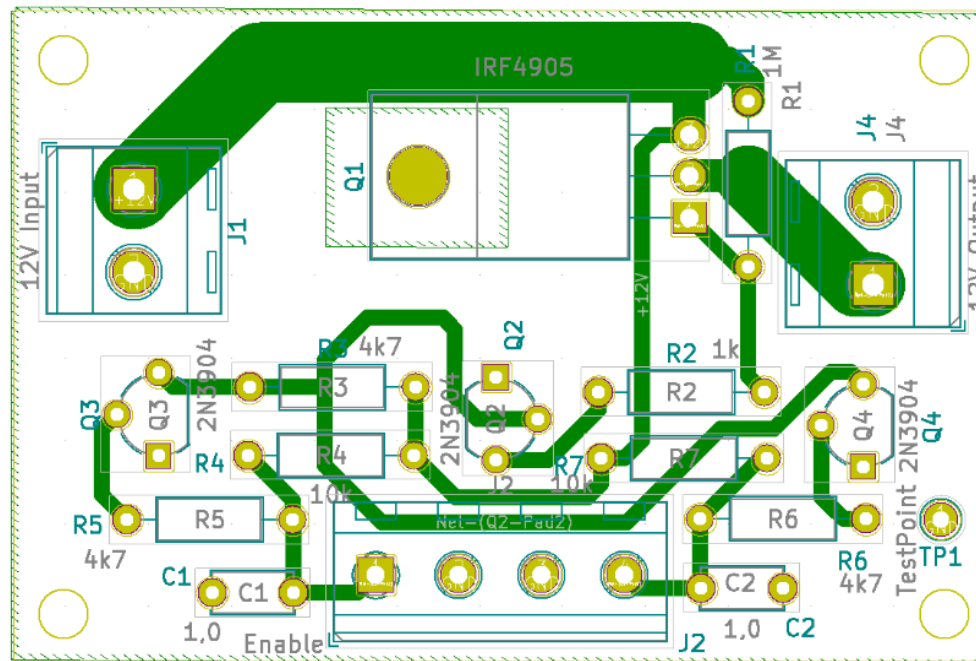
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



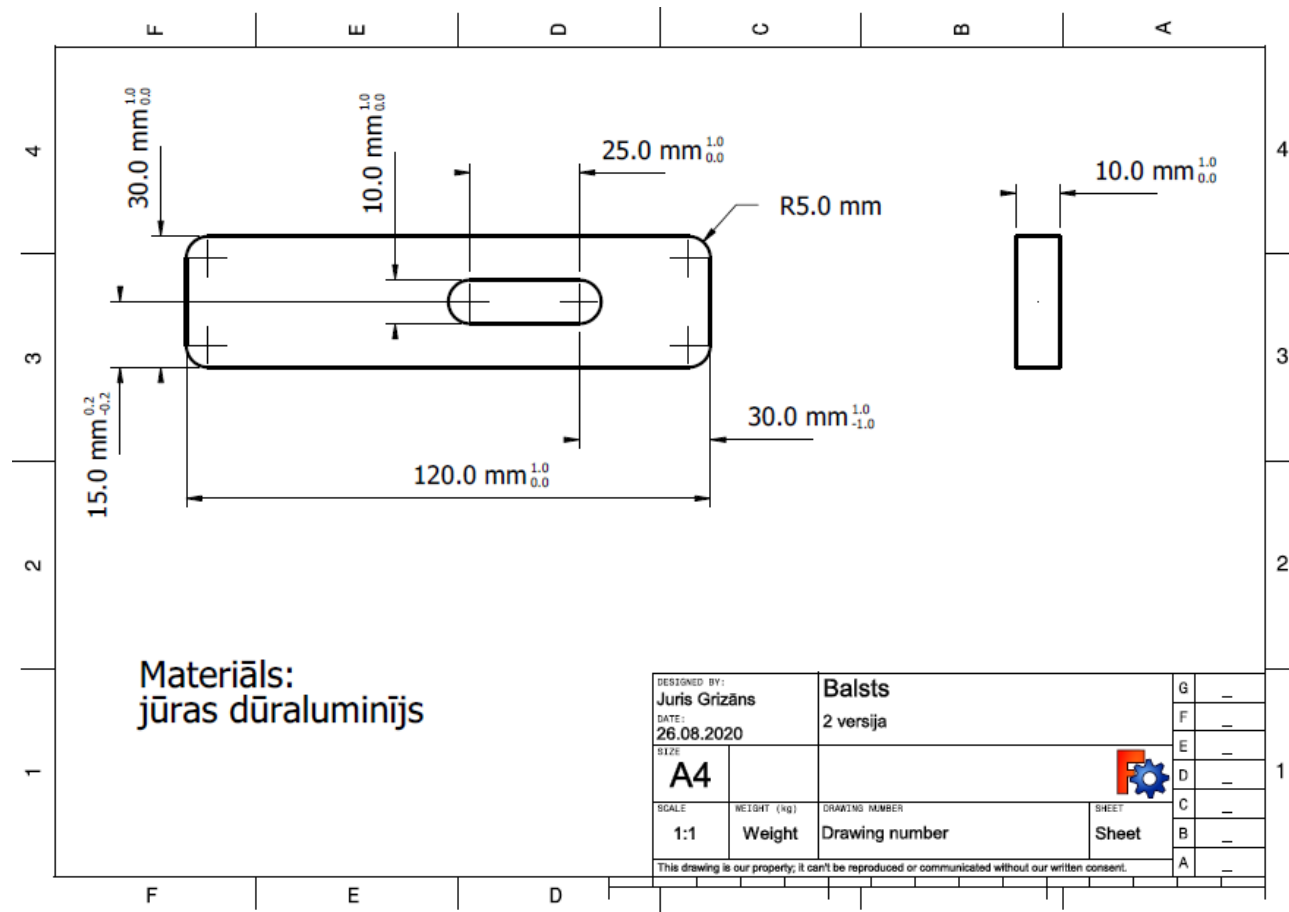






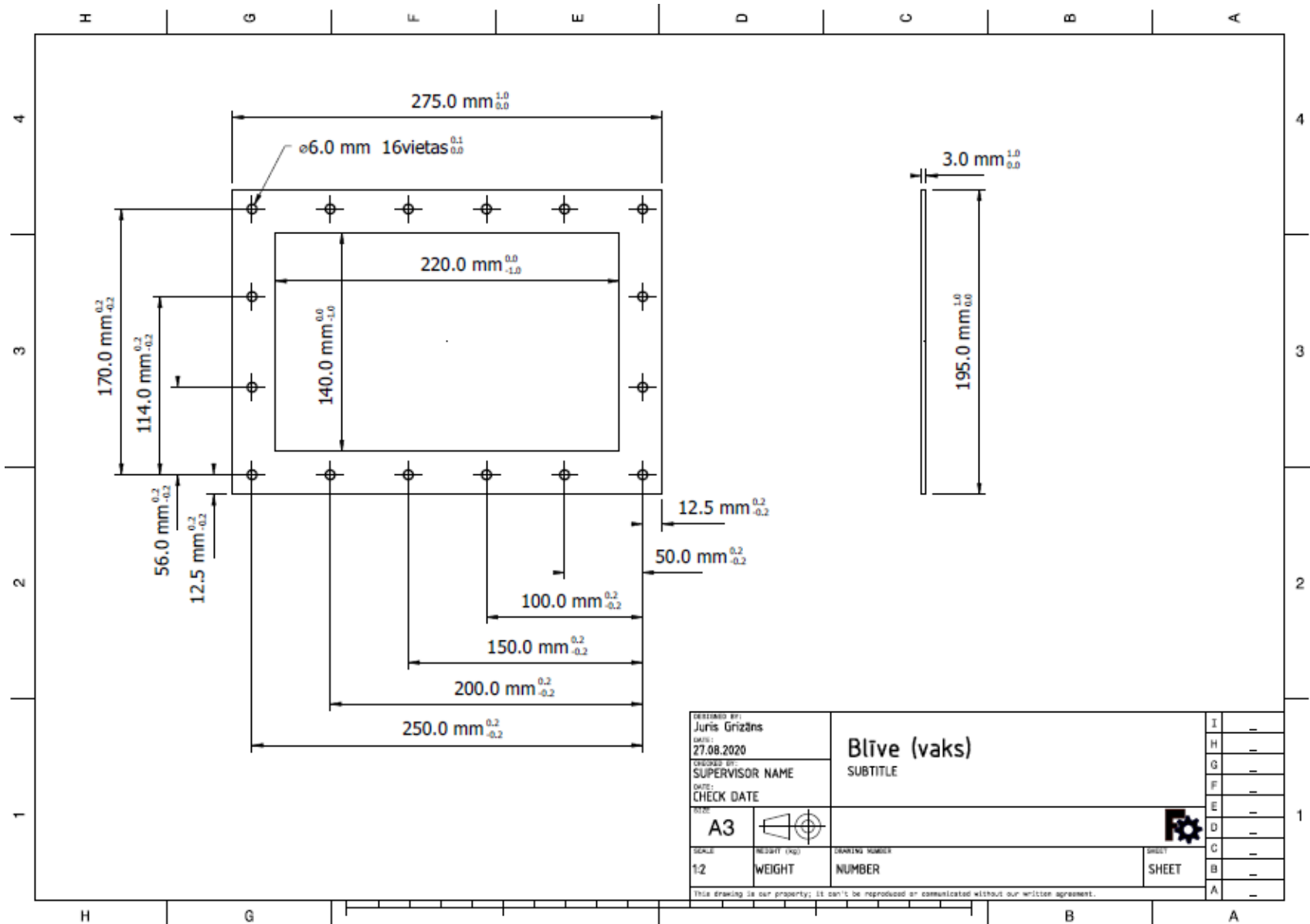
Pielikums 6.

Bojas un maināma akumulatoru bloka rasējumi



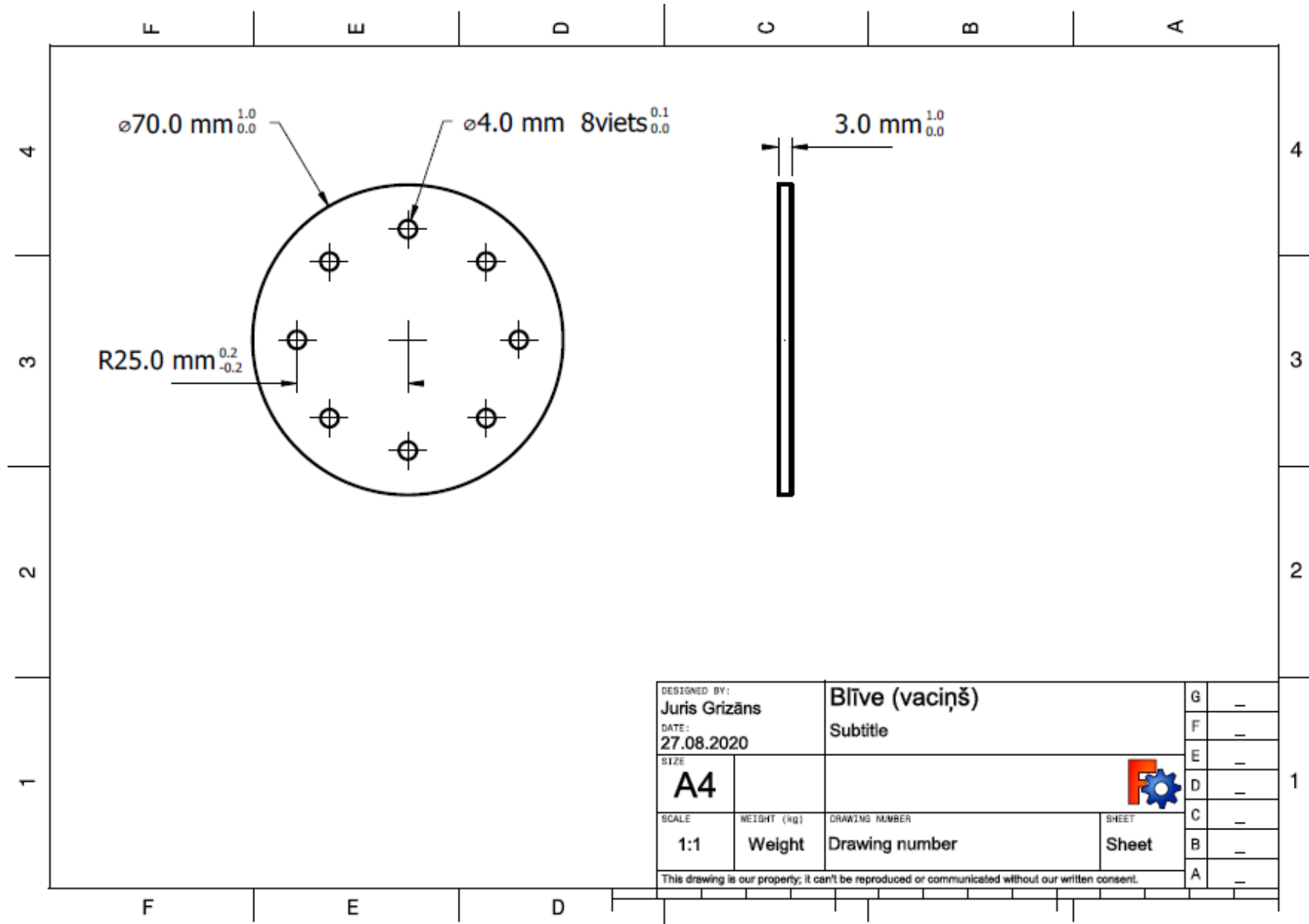
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



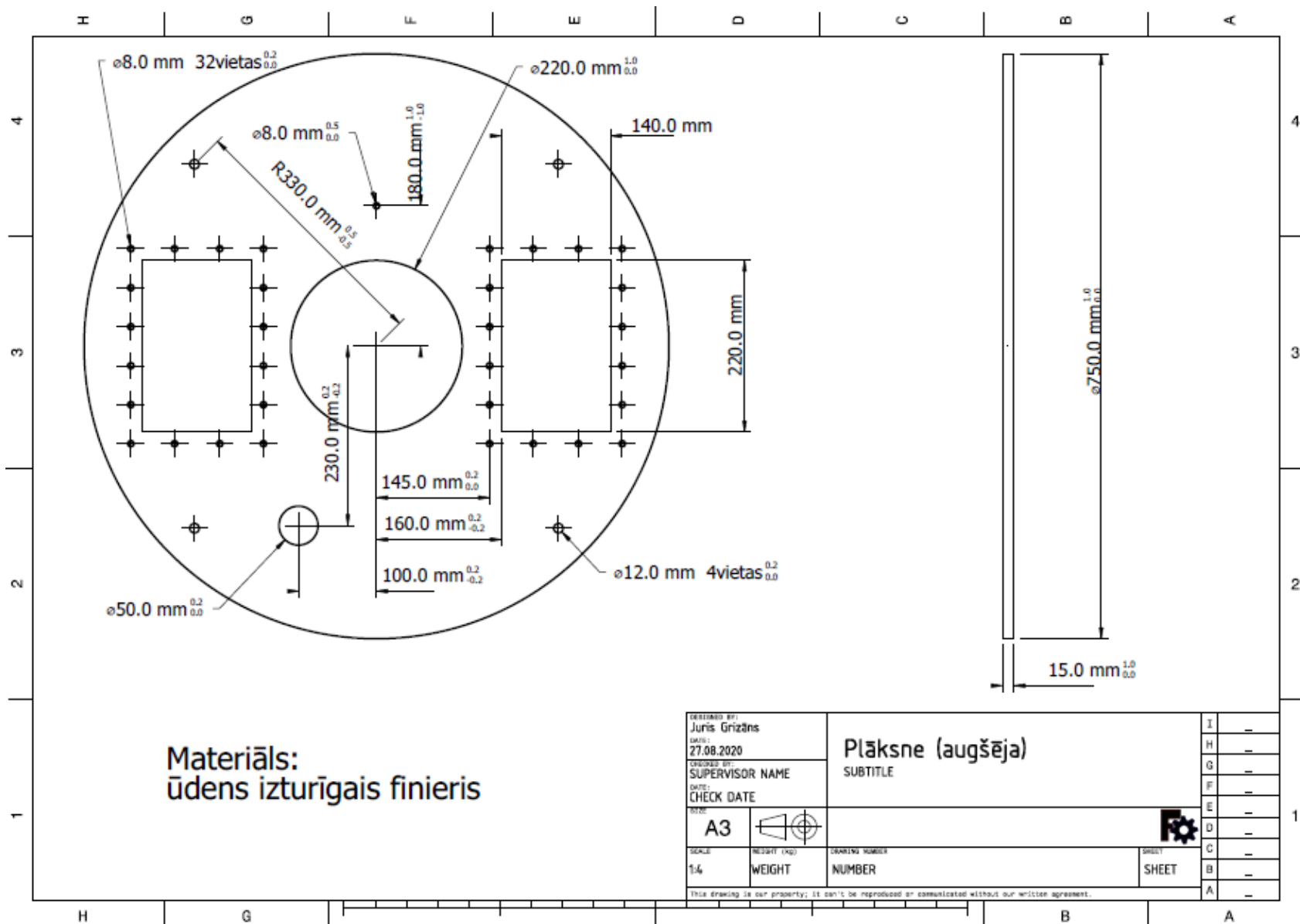
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



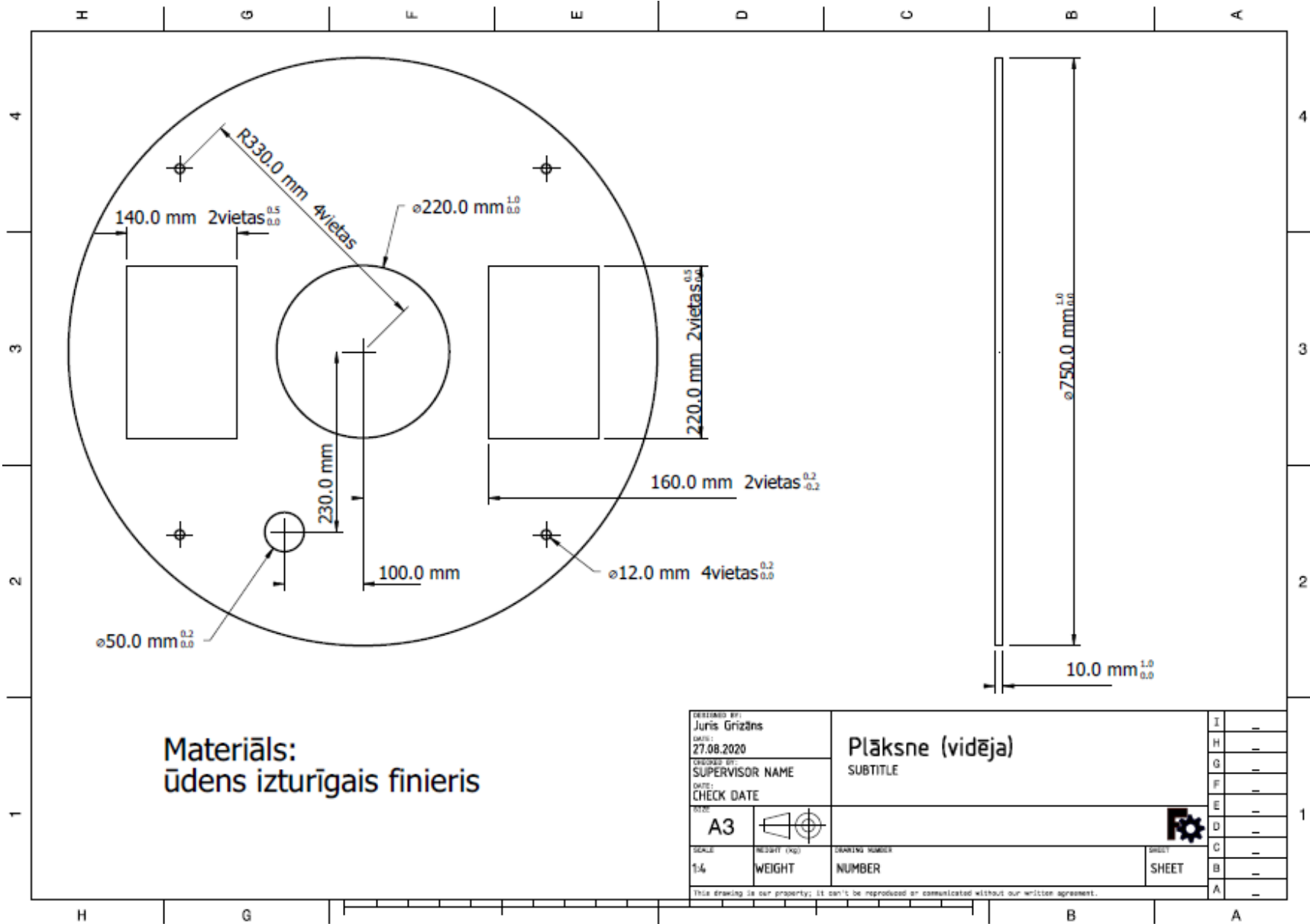
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



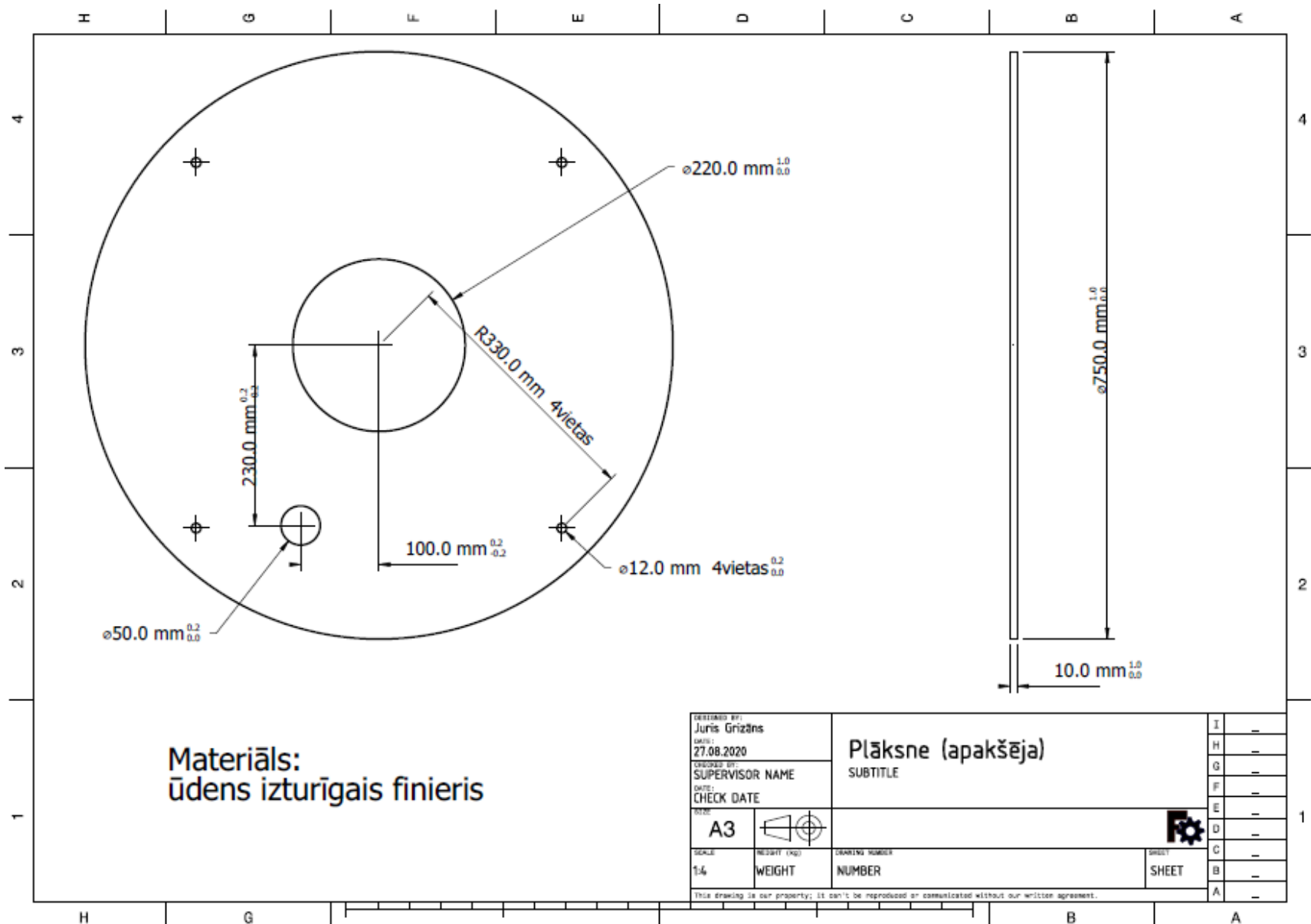
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



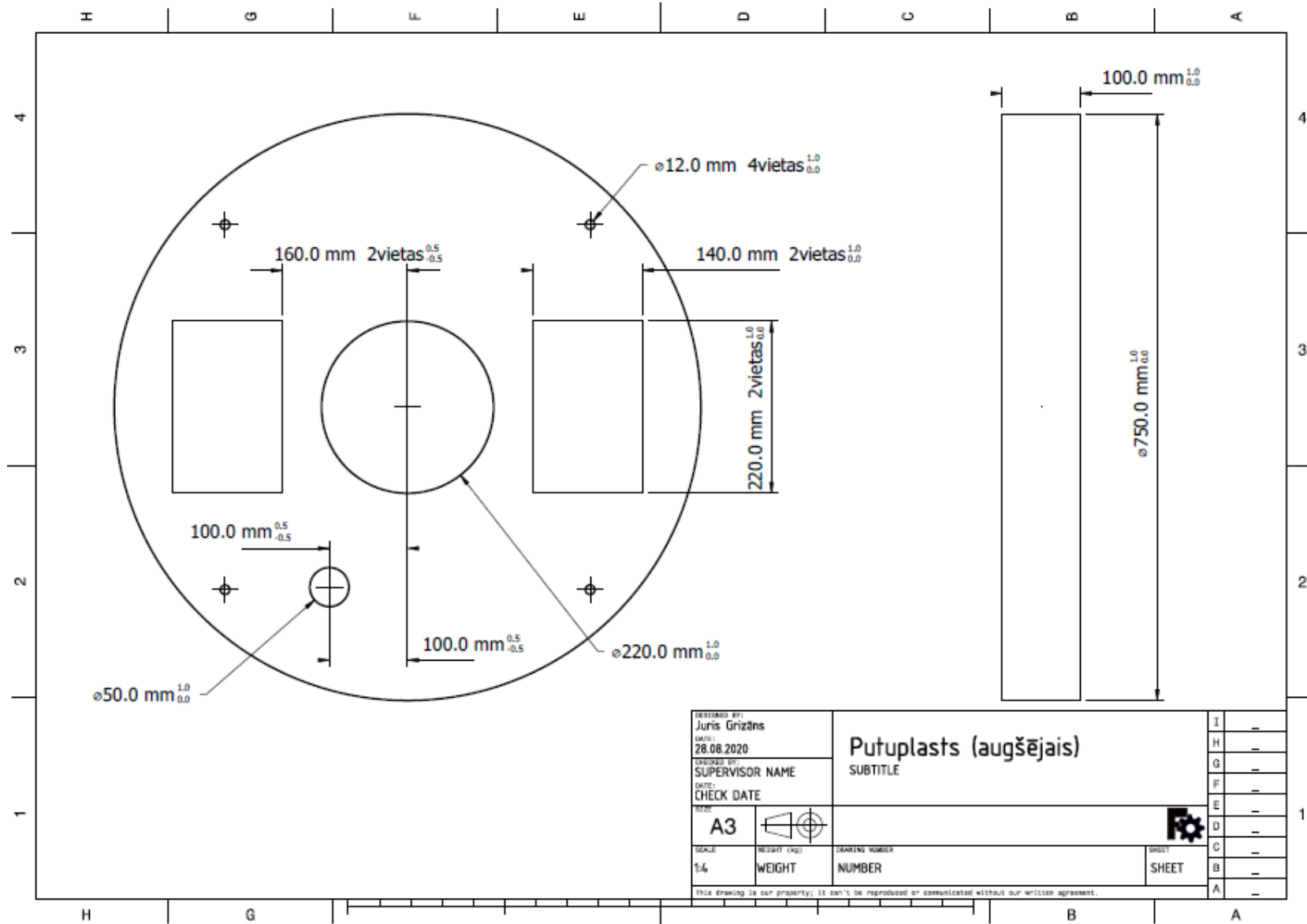
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



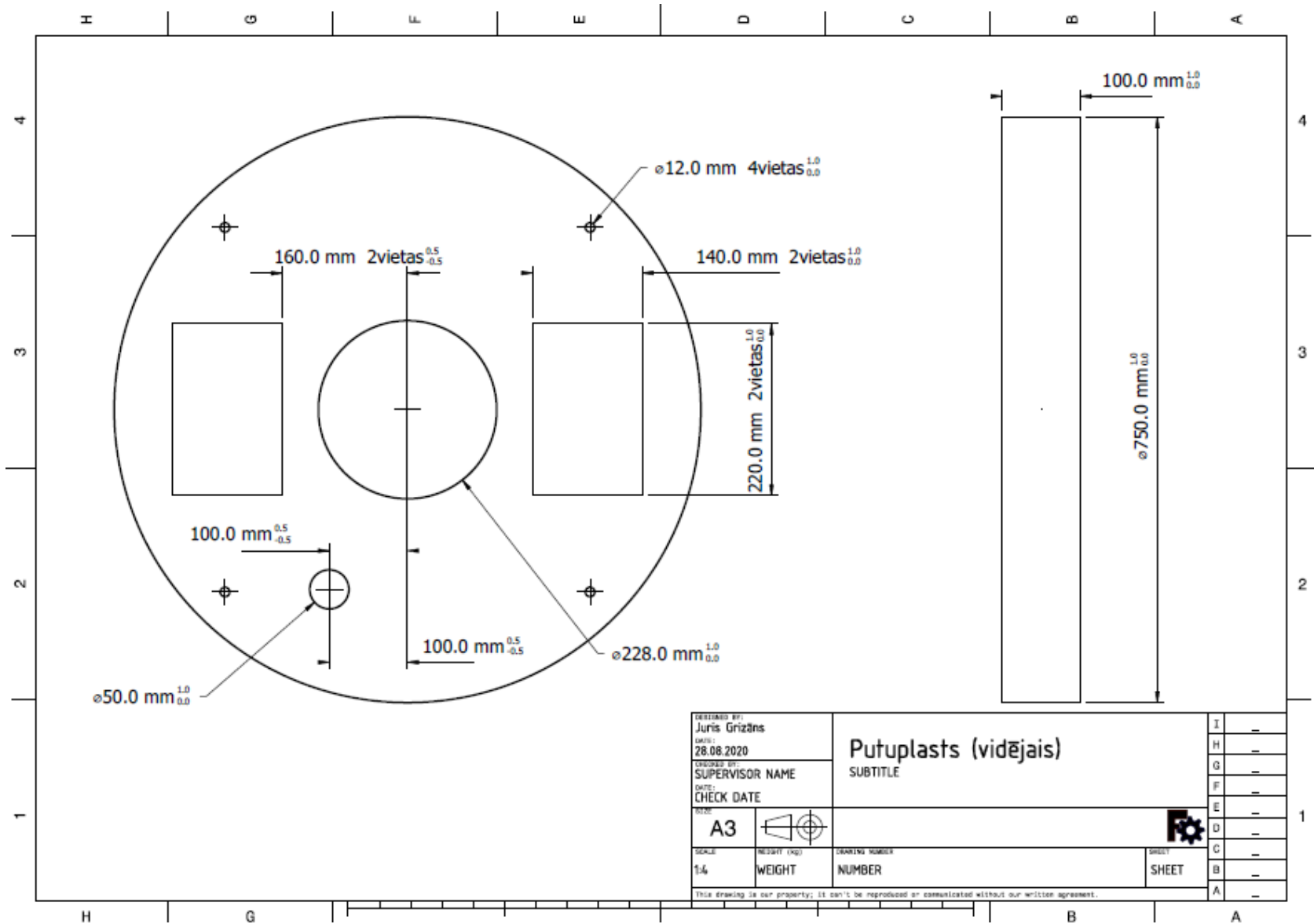
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



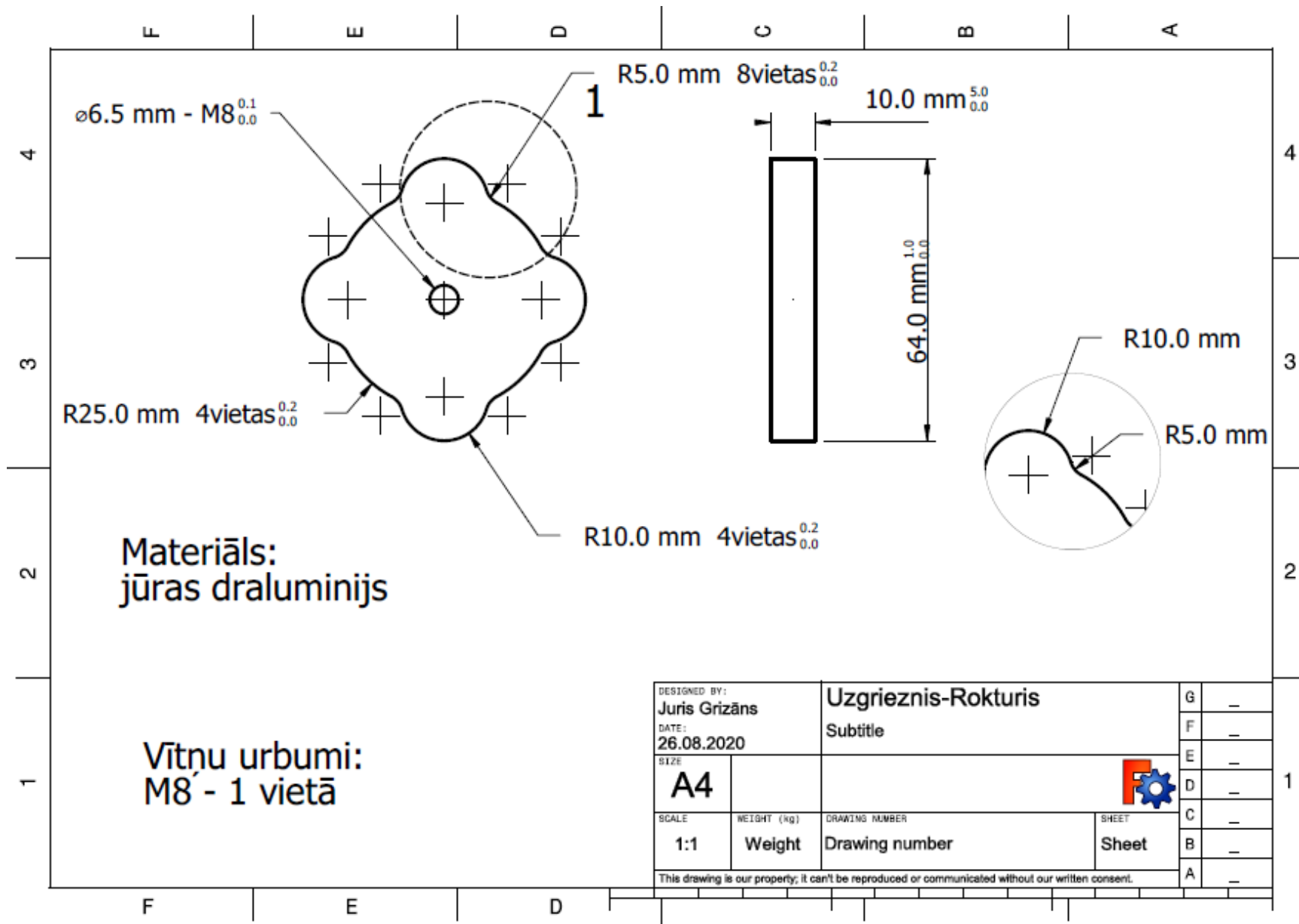
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



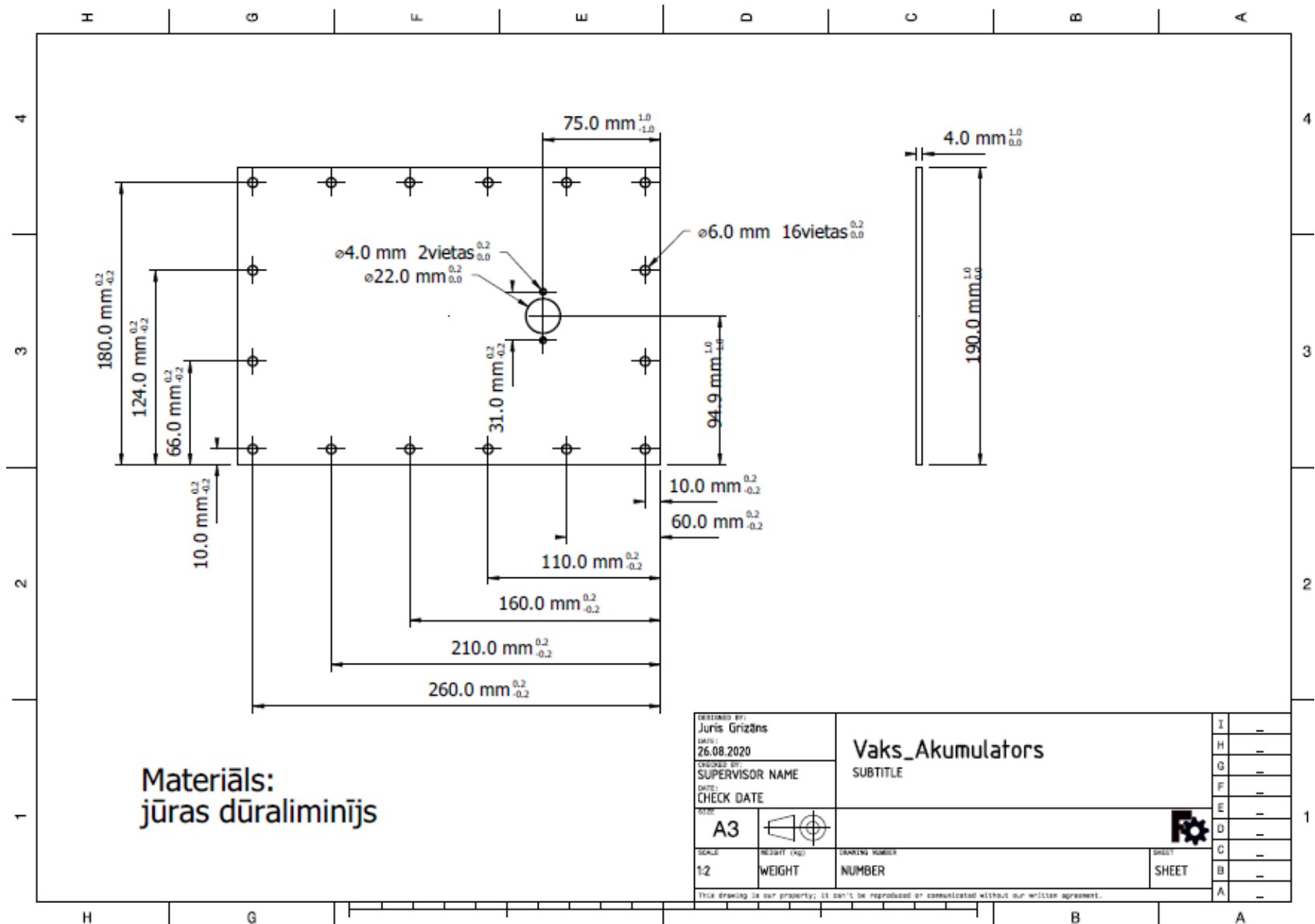
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



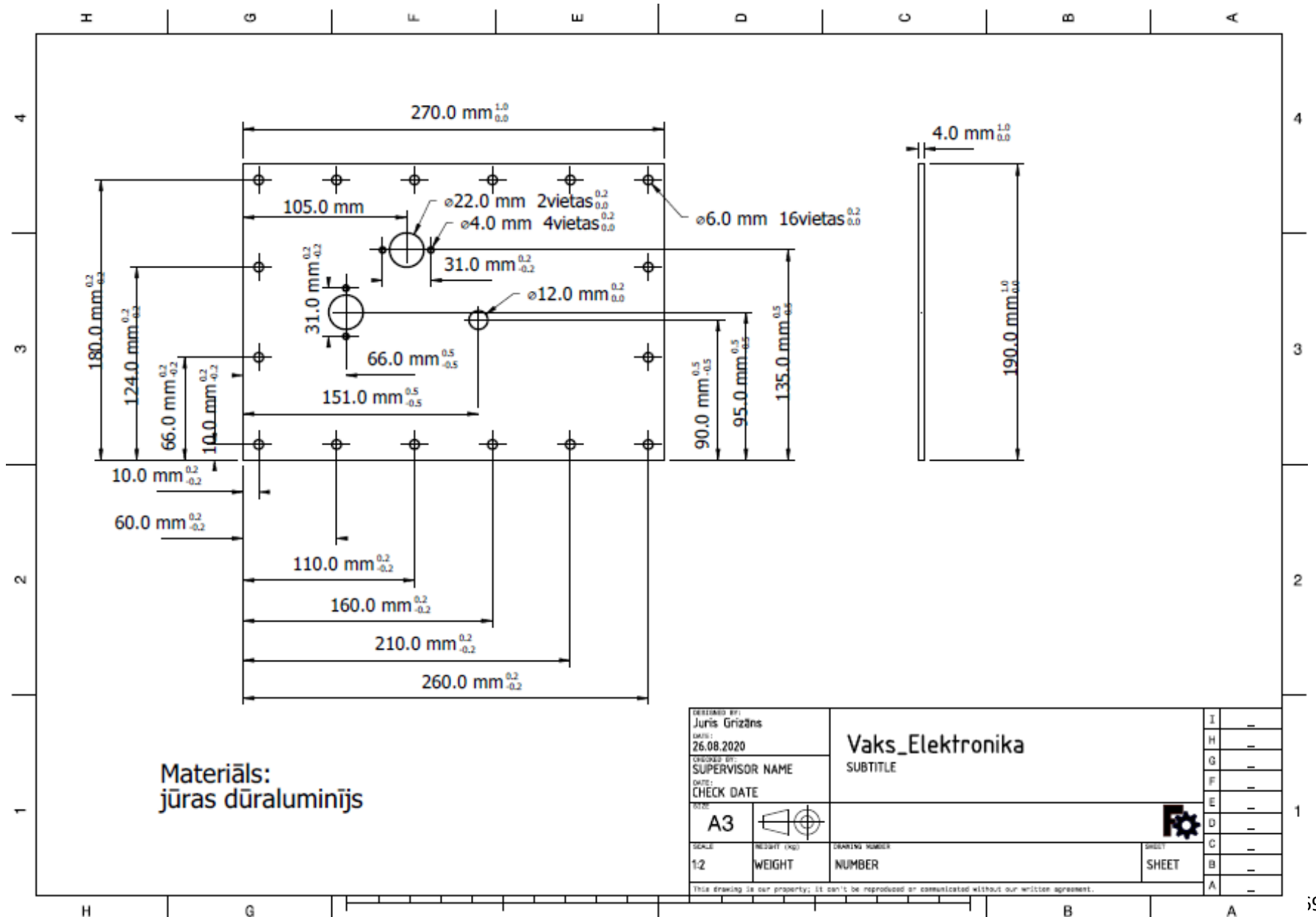
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



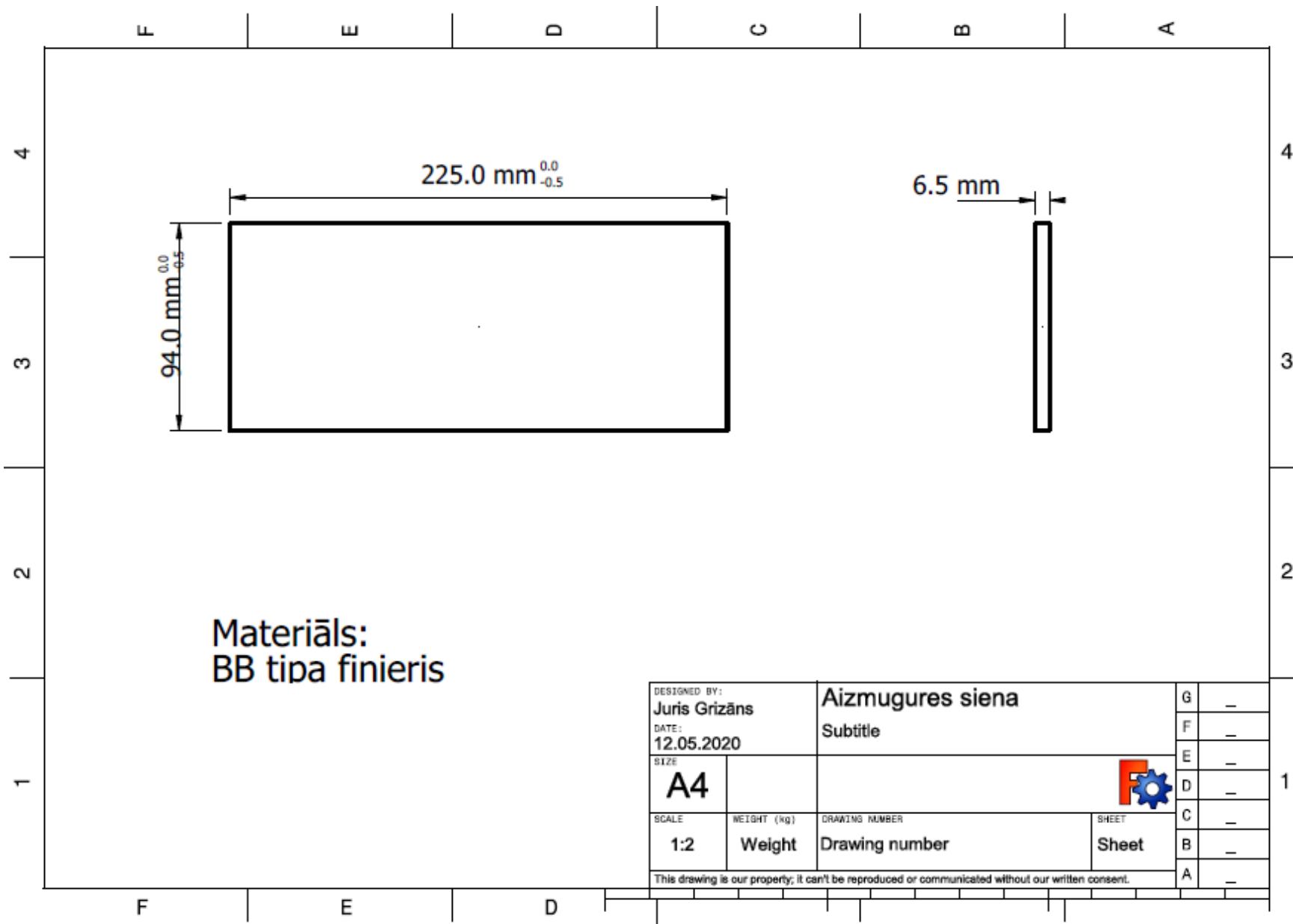
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



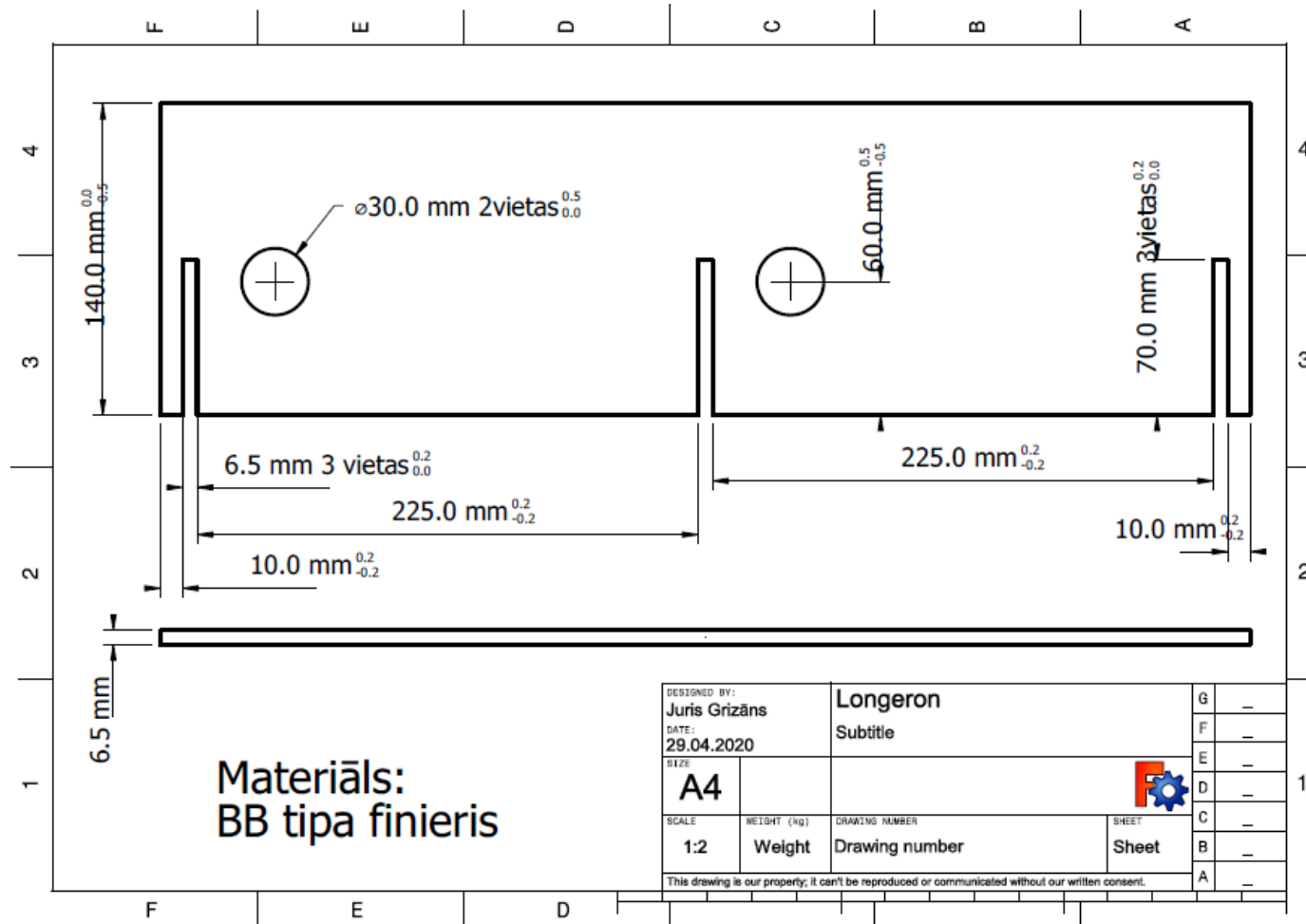
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



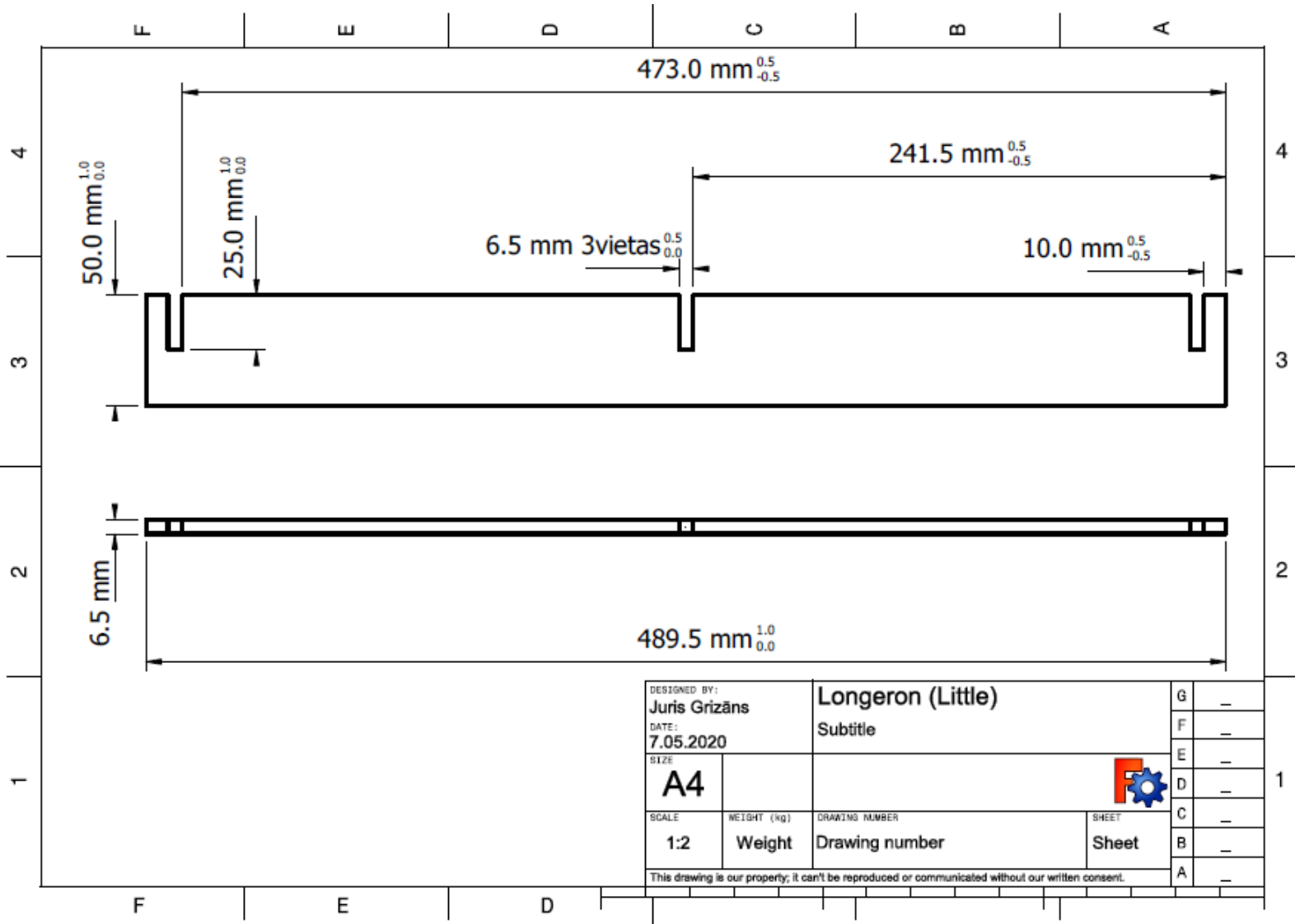
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



September 1, 2020

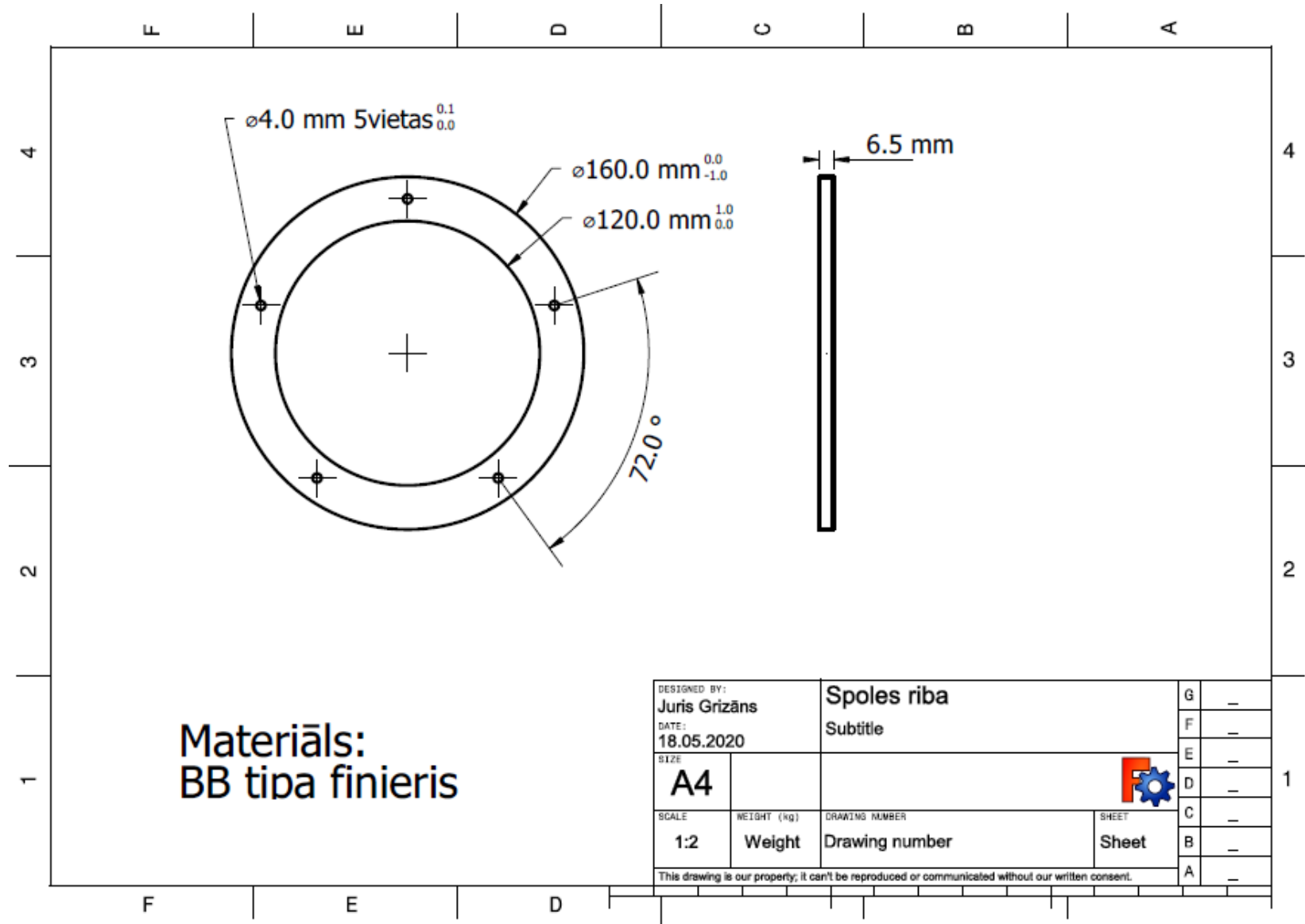
Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un
testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001





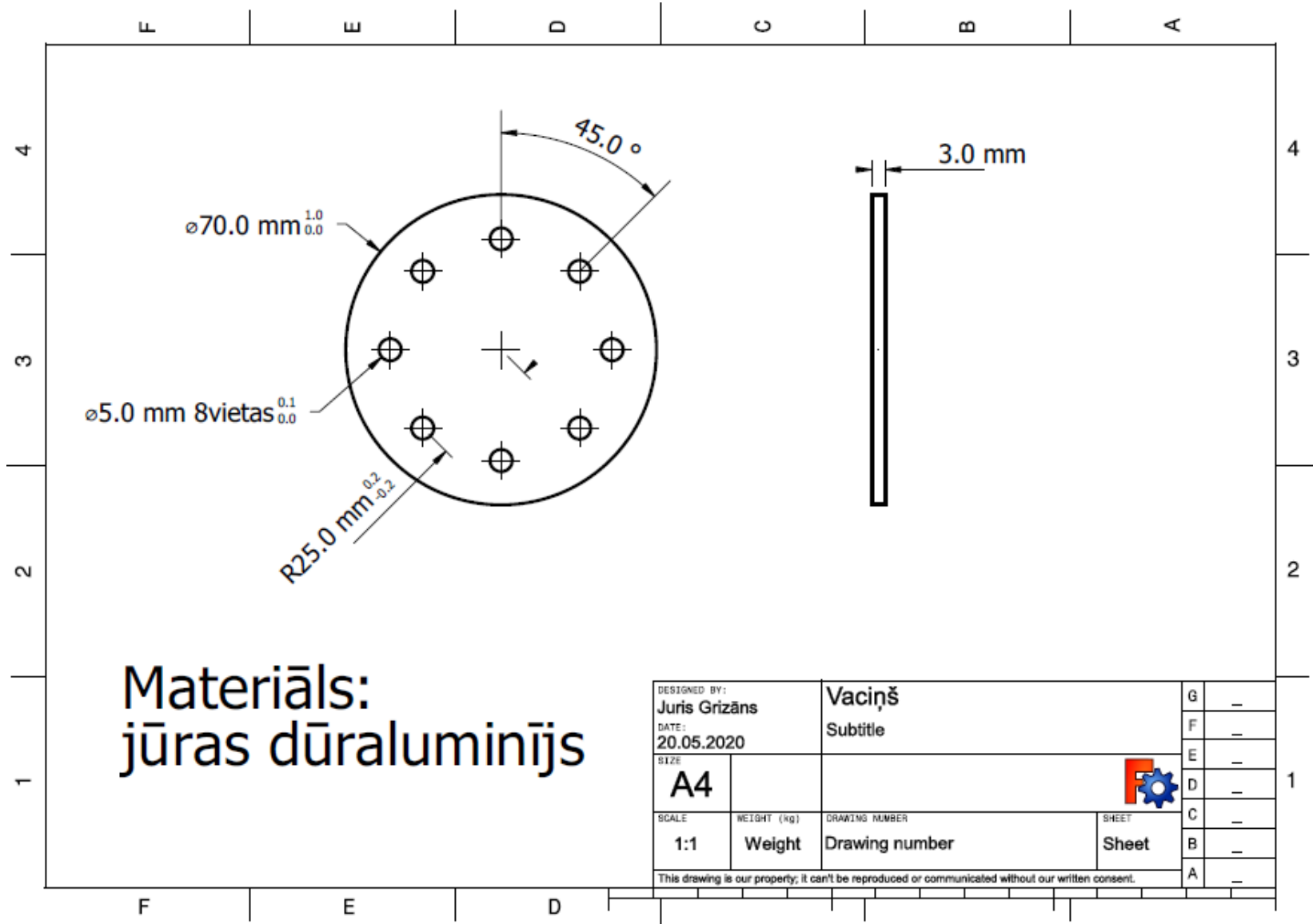
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



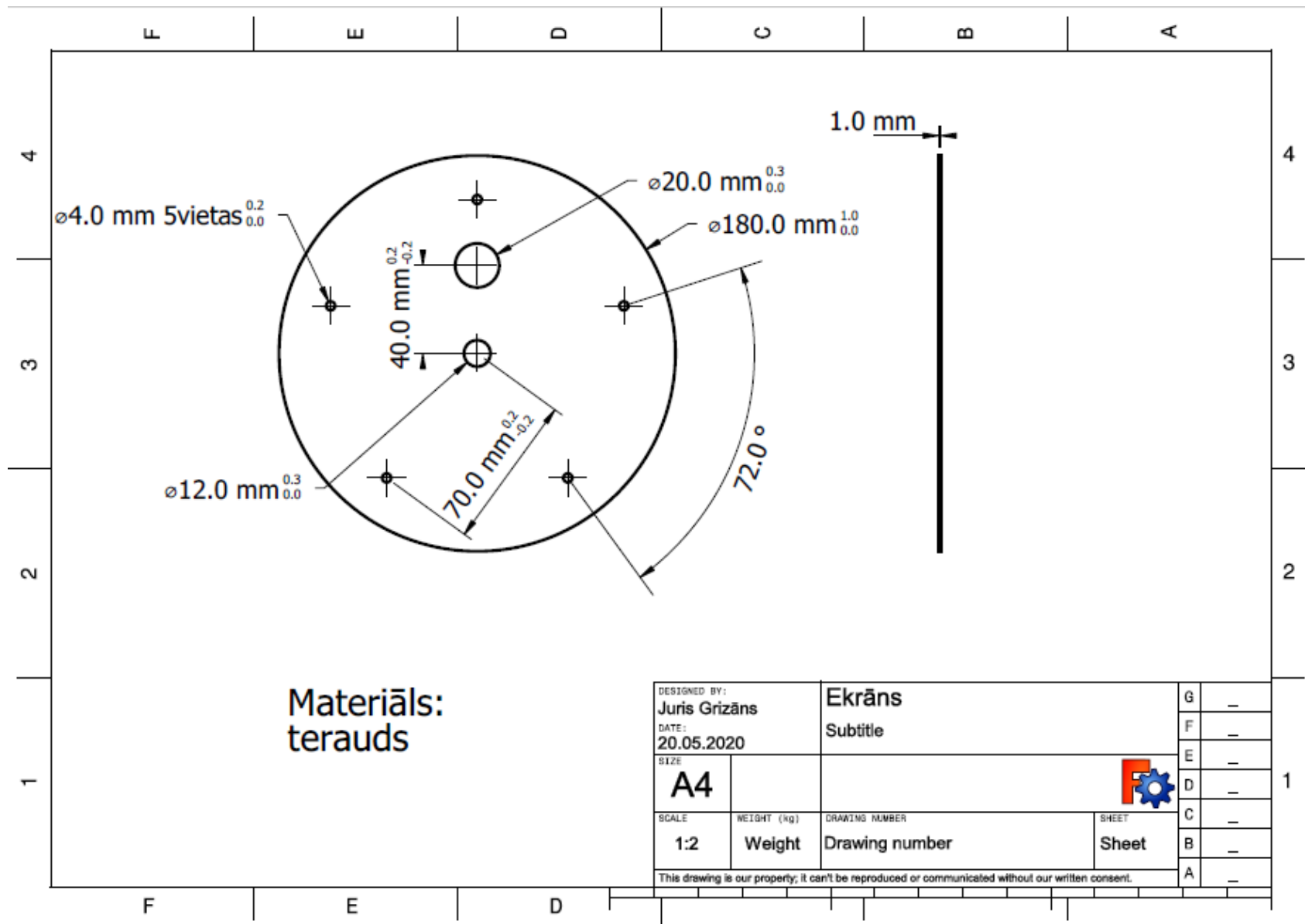
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



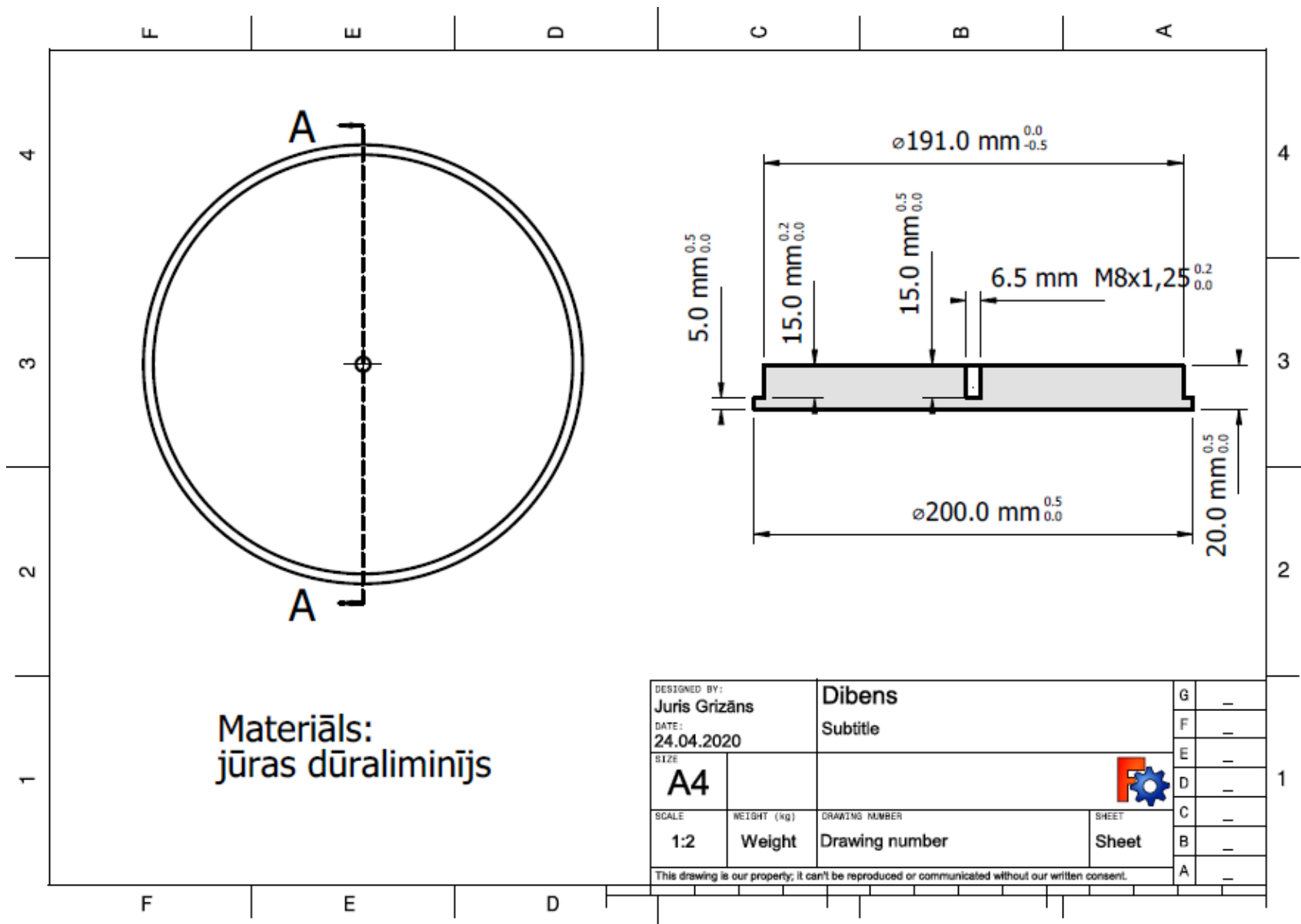
September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001



September 1, 2020

Projekts „Jaunās paaudzes roņu atbaidīšanas ierīču izstrāde un testēšana” Nr. 19-00-F01101-000001

