

Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedījamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

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 „Hibrīdās intelektuālās akustiski-
optiskās sistēmas izstrāde nemedījamo un
migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu
samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr.
17-00-F02201-000001

Atskaite par projekta uzdevumiem 1.1. un 1.3.

2018

Satura radītājs

1.	U1.1 HAOS modeļa izstrāde (RTU) 1.-4.mēn.	3
	AP1.1. Atskaite ar realizēto HAOS blokshēmu, modelēšanas datiem un optimāliem akustiskiem/optiskiem signāliem, to izmaiņu algoritmiem.	3
1.1.	HAOS blokshēma un atsevišķo moduļu funkcionālās prasības	3
1.1.1.	GaSaM modulis	5
	GaSaM bloku specifikācijas.....	9
1.1.2.	VaSaM modulis	12
1.1.3.	VŪM modulis	12
	VŪM bloku specifikācijas.....	13
1.2.	HAOS moduļu modelēšanas dati	15
1.2.1.	Bezvadu sakaru bloka parametru modelēšana	15
1.2.2.	AD9850 ģenerācijas moduļa modelēšana	18
1.2.3.	Elektrobarošanas bloka sastāvdaļu modelēšana	23
1.3.	Efektīvo akustisko signālu izpēte.....	37
1.3.1.	Putnu dzirdes īpatnības un jūtības diapazoni virs un zem ūdens	37
1.3.2.	Zivju mērķsugu dzirdes jūtības diapazoni.....	45
1.3.3.	Virsūdens akustiskie signāli	50
1.3.4.	Zemūdens akustiskie signāli	50
1.3.5.	Piedāvāto optimālo akustisko signālu parametri.....	51
1.4.	Efektīvo optisko signālu izpēte	55
1.4.1.	Putnu redzes īpatnības un jūtības diapazoni	55
2.	U1.3 HAOS komponentu testēšana zivju audzētavās (RTU+LZAA) 1.-6.mēn.	59
2.1.	AP1.3.1 Komponentu testēšanas plāns	59
2.2.	AP1.3.2 Akustisko un optisko komponentu testēšanas rezultātu atskaite	68

1. U1.1 HAOS modeļa izstrāde (RTU) 1.-4.mēn.

AP1.1. Atskaite ar realizēto HAOS blokshēmu, modelēšanas datiem un optimāliem akustiskiem/optiskiem signāliem, to izmaiņu algoritmiem.

1.1. HAOS blokshēma un atsevišķo moduļu funkcionālās prasības

HAOS ir paredzēts izmantot plēsējputnu kontrolei dažāda izmēra dīķos. Pastāv iespēja izmantot sistēmu arī dabisko ūdenstilpņu zivju populācijas aizsardzībai. 1. att. ir parādīta HAOS moduļu iespējamais izvietojums ap dīķi ar nolūku demonstrēt sistēmas sastāvdaļu funkcionalitāti un atvieglotu prasību sastādīšanas procedūru.

HAOS pamatu veidos 3 moduļi:

- Galvenais Sauszemes Modulis – GaSaM;
- Vadāmais Sauszemes Modulis – VaSaM;
- Vadāmais Ūdens Modulis – VŪM.

GaSaM un VaSaM veiks plēsējputnu atbaidīšanu no akvakultūras objektiem izmantojot optiskos signālus – lāzera starojumu un akustiskos signālus. Ir plānots izmantot zaļās krāsas lāzeri (viļņa garums 532 nm) ar 500 mW jaudu. Šāda lāzera stara darbības rādiuss tiešas redzamības gadījumā var sasniegt vairākus desmitus kilometrus, tāpēc lāzerus ir plānots uzstādīt tikai uz sauszemes moduļiem, lai nodrošinātu stabilu stara trajektoriju. VŪM kā galvenais atbaidīšanas rīks tiks izmantots zemūdens akustisko signālu raidītājs. Tā galvenais mērķis ir traucēt nirēj plēsējputniem atrast zivis zem ūdens. Kormorani ienirstot duļķainajā ūdenī orientējas galvenokārt pēc skaņas, bet mākslīgs akustisko signālu avots liegs viņiem medībās izmantot dzirdi. Papildus zemūdens skaņas avotam VŪM tiks aprīkots arī ar jaudīgo taures formas skaļruni, kas raidīs dažādas skaņas putnu atbaidīšanai VŪM atrašanas tuvumā.

Ir plānots aprīkot GaSaM ar tālo sakaru moduli, kas strādās mobila operatora tīklā un nodrošinās HAOS attālināto monitoringu (telemetrijas datu pārraidi) un konfigurēšanu. Šī sistēma ļaus kontrolēt elektroenerģijas patēriņu, akumulatoru uzlādes līmeņus, atsevišķu bloku funkcionalitāti raksturojošos parametrus (spriegumus, strāvas, vadības komandas un tml.).

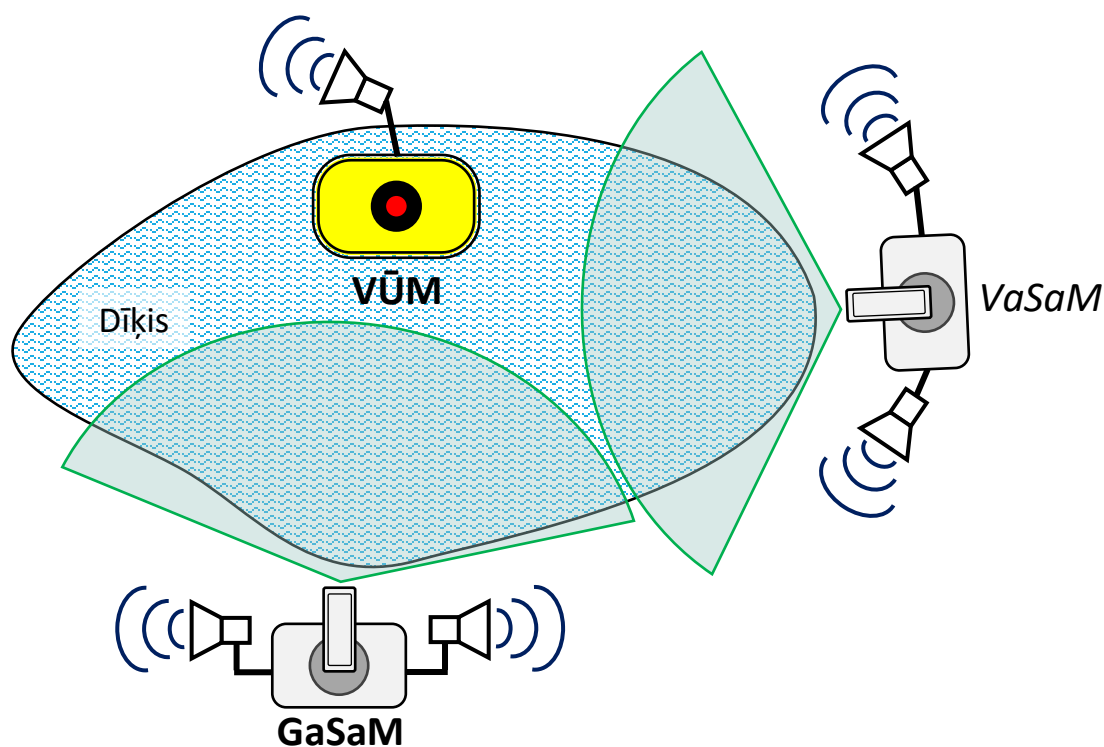
Gadījumā, ja tiks izmantoti vairāki sauszemes un ūdens moduļi, GaSaM nodrošinās moduļu koordinētu darbību ar nolūku taupīt energoresursus un veikt efektīvāku putnu atbaidīšanu.

Moduļu skaits un izvietojums konkrētajā aizsargājamā platībā var atšķirties. Faktori, kas ietekmes moduļu izvietojumu noteiktajā teritorijā:

- aizsargājama platība;

- plēsējputnu sugas, to mēdišanas īpatnības, reakcija uz atbaidīšanas signāliem (optiskiem vai akustiskiem);
- šķērsli, kas var traucēt optisko un akustisko signālu izplatīšanos.

Cilvēks, kas būs atbildīgs par HAOS ekspluatāciju un apkopi, dokumentā tiks saukts par **administratoru**. Viņš varēs gan pārbaudīt sistēmas statusu, gan veikt attālinātu konfigurēšanu.



GaSaM = Galvenais Sauszemes Modulis

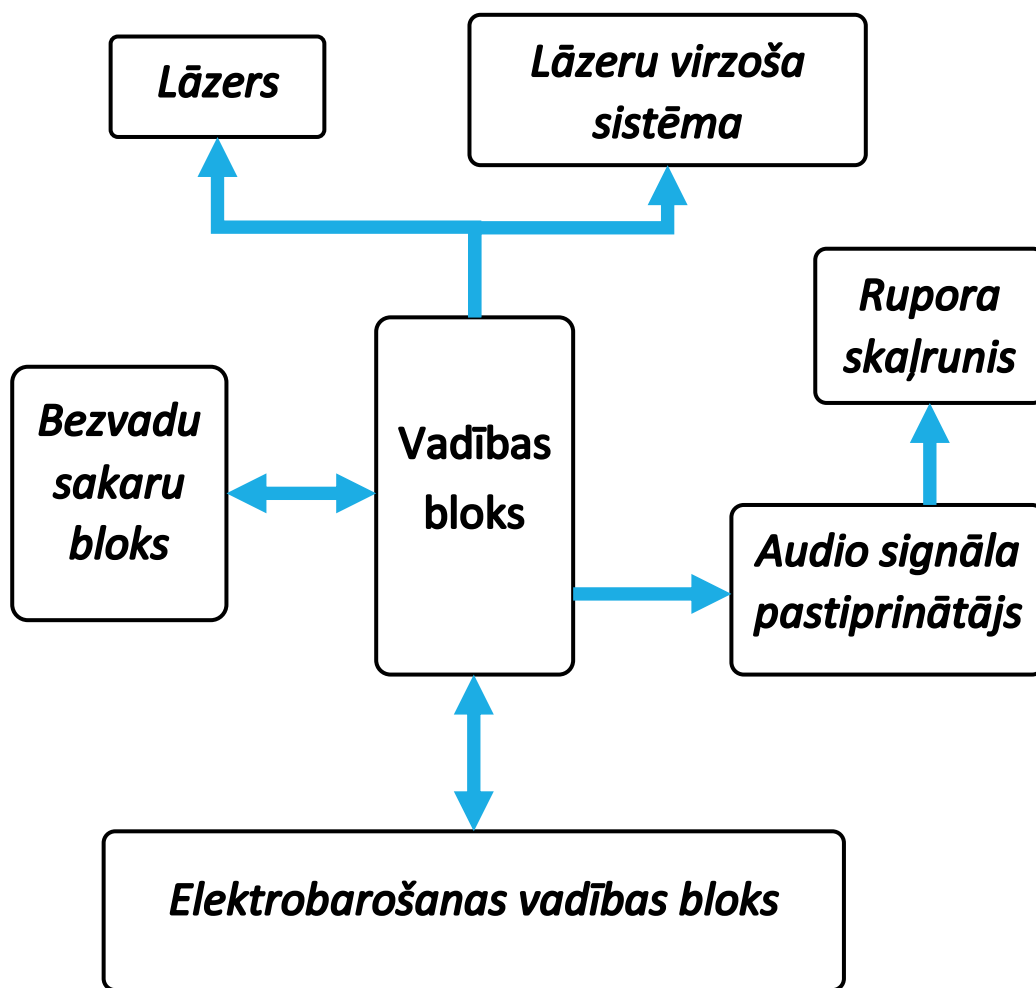
VaSaM = Vadāmais Sauszemes Modulis

VŪM = Vadāmais Ūdens Modulis

1. att. HAOS moduļu iespējamais izvietojums ap lielo dīķi

1.1.1. GaSaM modulis

2. att. ir parādīta GaSaM blokshēma.



2. att. GaSaM uzbūve

GaSaM bloku funkciju apraksts.

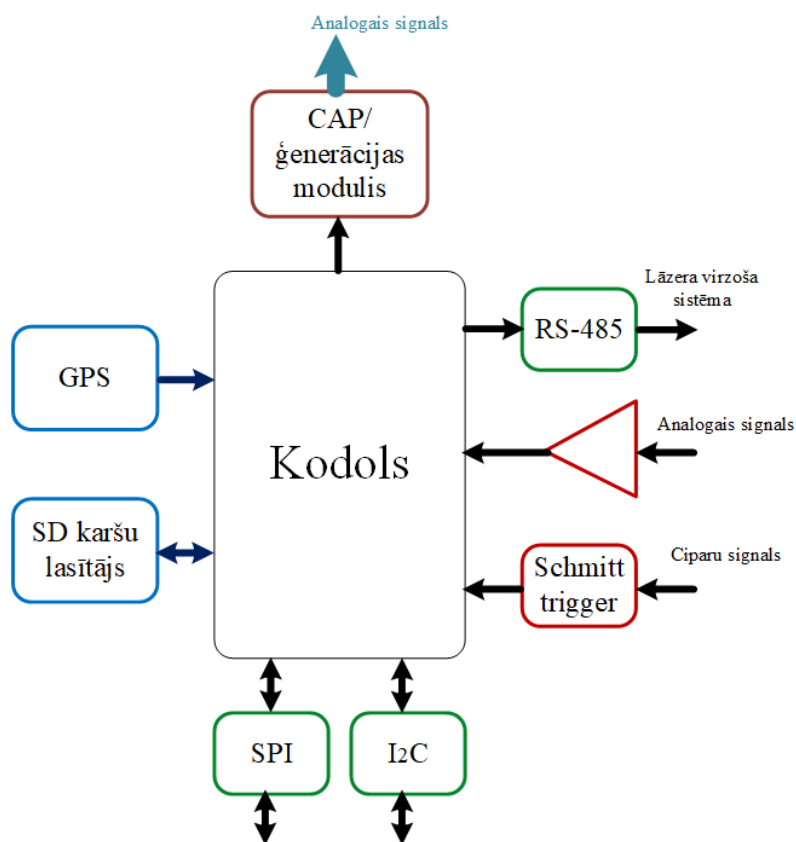
Katrs no 2. att. parādītiem blokiem veiks tam atbilstošas funkcijas, kas nodrošinās visa moduļa drošu un vadāmu darbību. Balstoties uz bloka funkciju sarakstu tiks sastādītas katra bloka specifikācijas un tiks projektēti atbilstošie iekārtas mezgli.

Vadības bloka funkcijas:

1. Lāzera un tā virzošas sistēmas vadība.
2. Akustisko signālu ģenerēšana, pret pierašanas algoritmu realizācija.

3. VaSaM un VŪM konfigurēšana, lai izveidotu intelektuālo iekārtu tīklu.
4. VaSaM un VŪM darbību raksturojošu parametru savākšana un analīze.
5. Iekārtas stāvokļa (atsevišķu bloku temperatūras, energopateriņa) kontrole, lai minimizētu avārijas varbūtību.
6. Lietotāja saskarnes realizācija.
7. Bezvadu komunikācijas nodrošināšana ar sistēmas administratoru – statusa un brīdinājuma ziņojumu sūtīšana, konfigurācijas komandu saņemšana.
8. Iekārtas darbību raksturojošo datu savākšana un glabāšana.
9. Iekārtas atrašanas vietas noteikšana (lokālizācija).

Vadības bloka shēma ar tajā paredzētiem mezgliem un interfeisiem komunikācijai vai citu bloku vadībai ir parādīta 3. att.

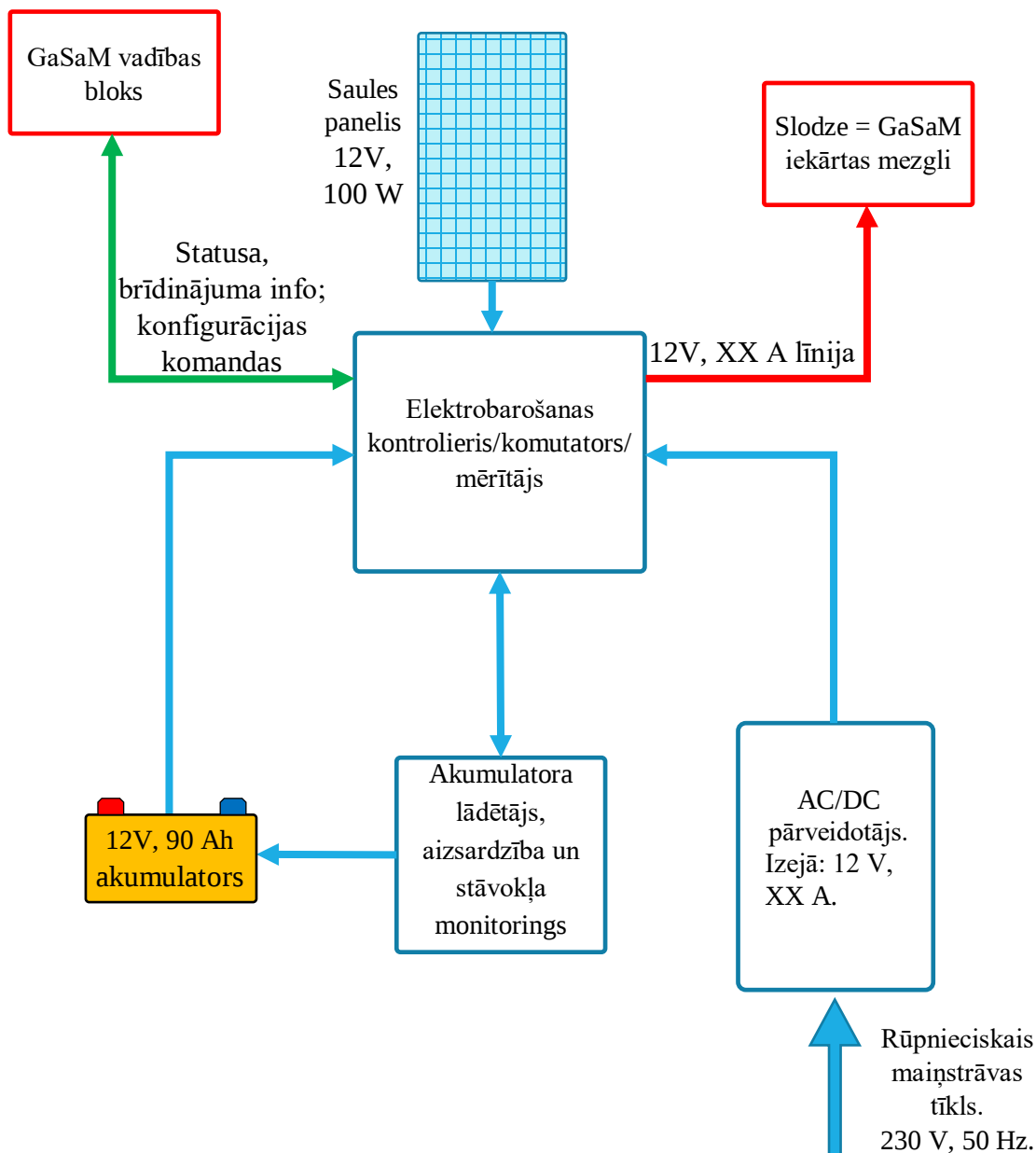


3. att. Vadības bloka struktūra

Elektrobarošanas vadības bloka funkcijas:

1. Iekārtas moduļu apgāde ar elektroenerģiju.
2. Pieslēgto enerģijas avotu automātiskā noteikšana un energoapgādes režīma nodrošināšana atbilstoši vadības bloka konfigurācijai.
Enerģijas avoti: maiņstrāvas tīkls; saules panelis/-ļi; akumulators/-i.
Energoapgādes režīmi: Pilnas jaudas (pieslēgts pie maiņstrāvas tīkla), enerģiju taupošs (autonoma darbība vai avārijas režīms), balansēts režīms (darbojas no saules paneļiem un akumulatora).
3. Statusa un brīdinājuma ziņojumu sūtīšana vadības blokam, konfigurācijas saņemšana no vadības bloka.
4. Iekārtas aizsardzība no pārspriegumiem, patērētas jaudas kontrole, kritisko elementu temperatūras kontrole.

Elektrobarošanas vadības bloka vieta GaSaM uzbūvē un komutācijas shēmā ir parādīta 4. att. Patērētas strāvas vērtības tiks novērtētas pēc konkrēto komponentu izvēles un datormodelēšanas rezultātu iegūšanas.



4. att. Elektrobarošanas vadības mezgla blokshēma

Bezvadu sakaru bloka funkcijas:

1. Vadības bloka ziņojumu nosūtīšana uz VaSaM un VŪM:
 - a. saņemtas bitu secības sagatavošana pārraidei;

- b. signāla pastiprināšana līdz maksimālai atļautai jaudai.
2. Signālu, kas nāk no VaSaM un VŪM, uztveršana un demodulācija.
3. Uztverta ziņojuma tālāka nodošana vadības blokam.
4. Statusa un brīdinājuma ziņojumu, kas nāk no vadības bloka, sagatavošana pārraidei iekārtas administratoram atbilstoši kādam no standartiem (piemēram, GSM, 3G, 4G vai Wi-Fi);
5. Administratora konfigurācijas komandu saņemšana, dekodēšana un tālāka nosūtīšana vadības blokam.

Lāzera funkcijas:

1. Ģenerēt zaļas krāsas (viļņa garums 532 nm) staru ar diametru no 2 līdz 5 cm.
2. Lāzera staram ir jābūt redzamam arī dienas gaišajā laikā.
3. Lāzera darbības attālumam tiešas redzamības apstākļos ir jābūt līdz 2 km.

Lāzeru virzošās sistēmas funkcijas:

1. Nodrošināt lāzera stara kustību pa noteiktu trajektoriju.

Audio signāla pastiprinātāja funkcijas:

1. Pastiprināt elektrisko signālu, kas nāk no vadības bloka, līdz skaļruņa/-u nominālajam jaudas līmenim.

Rupora skaļruņa funkcijas:

1. Nodrošināt akustisko signālu izplatīšanos 500 m rādiusā no GaSaM.

GaSaM bloku specifikācijas.

VADĪBAS BLOKS.

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Barošanas spriegums	12 V
Mikrokontrolieris	32 bitu
Analogo ieeju skaits	ne mazāks 12
Analogo izeju skaits	ne mazāks par 2
Analogo izeju izšķirtspēja	ne mazāka par 10 bitiem
Ciparu ieeju/izeju skaits	ne mazāks par 54
Sakaru protokolu atbalsts	SPI, UART, RS-485, I2C

Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedijamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

BEZVADU SAKARU BLOKS.

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Barošanas spriegums	12 V DC
Frekvenču diapazons M2M ¹ sakaru nodrošināšanai	863 – 870 MHz
M2M raidītāja efektīvā izstarotā jauda	ne lielāka par 25 mW
M2M sakaru kanāla darbības attālums	ne mazāks par 1 km
M2M uztvērēja jūtība	ne lielāka(sliktāka) par -110 dBm
M2M datu pārraides ātrums	ne mazāk par 10 Kbps
Standarts sakaru nodrošināšanai ar administratoru	GSM vai 3G vai 4G

ELEKTROBAROŠANAS VADĪBAS BLOKS.

Specifikācijas AC/DC pārveidotājam:

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Ieejas spriegums no maiņstrāvas tīkla	230 V, 50 Hz
Izejas spriegums	12 V līdzspriegums
Izejas strāva	XX A
Papildprasības	aizsardzība pret īsslēgumu izejā, aizsardzība pret pārspriegumiem ieejā.

Specifikācijas saules panelim:

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Nomināls izejas spriegums	12 V
Maksimālā izejas jauda	100 W, 50 W
IP klase	ne zemāks par IP65
Darba temperatūru diapazons	no -40°C līdz 90°C
Masa	ne lielāka par 10 kg

Specifikācijas akumulatoram:

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Tehnoloģija	LiFePO4 vai svina ar dziļu izlādes pakāpi (deep-cycle)
Nomināls izejas spriegums	12 V
Kapacitāte	ne mazāka par 60 Ah

¹ M2M – (no angļu. v. Machine-to-Machine) sakari starp atsevišķiem moduļiem

Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedijamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

Optimālā izlādes strāva	ne mazāka par 20 A
Darba temperatūru diapazons	no -25°C līdz 80°C

LĀZERS.

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Patērētā jauda	ne lielāka par 5 W
Viļņa garums	532 ± 1 nm.
Darba režīms	CW (Continuous Wave)
Izejas jauda	500 mW.
Sagaidāms kalpošanas ilgums	10 000 stundas.
TTL/ Analogas modulācijas iespējas.	ir
Stara diametrs lāzera izejas atverē	ne mazāks par 1,5 mm.
Masa	ne lielāka par 0.9 kg
10x stara paplašinātājs	ir

LĀZERU VIRZOŠĀ SISTĒMA.

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Patērētā jaudā	30 W.
Horizontālas plaknes pagriezienu diapazons	no 0° līdz 355°.
Vertikālas plaknes pagriezienu diapazons	no 10° līdz -80°
Pagriešanas ātrums, katrā no plaknēm	ne mazāks par 6°/s.

AUDIO SIGNĀLA PASTIPRINĀTĀJS.

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Elektrobarošanas spriegums	12 V DC
Izejas kanālu skaits	2
Maksimāla ieejas sprieguma vērtība	3 V.
Maksimāla izejas signāla jauda no 1 kanāla	40 W.
Izejas signāla efektīva jauda no 1 kanāla (pie kuras tas spēj ilgstoši strādāt)	30 W.
Pastiprinātāja klase	D
Lietderības koeficients	> 90 %

RUPORA SKAĻRUNIS.

Parametrs	Vērtība, mērvienība
-----------	---------------------

Impedance	8 Ω.
SPL (1W/1m)	ne mazāks par 110 dB.
IP klase	ne mazāka par IP65.
Frekvenču diapazons	400 – 8000 Hz.
Izejas jauda (pie kuras var ilgstoši strādāt)	30 W.

1.1.2. VaSaM modulis

VaSaM uzbūve ir identiskā GaSaM ar nelielām izmaiņām vadības bloka programmnodrošinājumā un bezvadu sakaru blokā (sistēmas cenas un ekspluatācijas izmaksu samazināšanai nav iekļauta komunikācijas shēma saziņai ar administratoru)

1.1.3. VŪM modulis

5. att. ir parādīta VŪM blokshēma. Dēļ tā ka VŪM peldes uz ūdens virsmas uz tā nedrīkst izvietot jaudīgu lāzeri, jo nelabvēlīgos laika apstākļos pastāv risks trāpīt ar staru debesīs un traucēt lidmašīnām.

VŪM bloku funkciju apraksts.

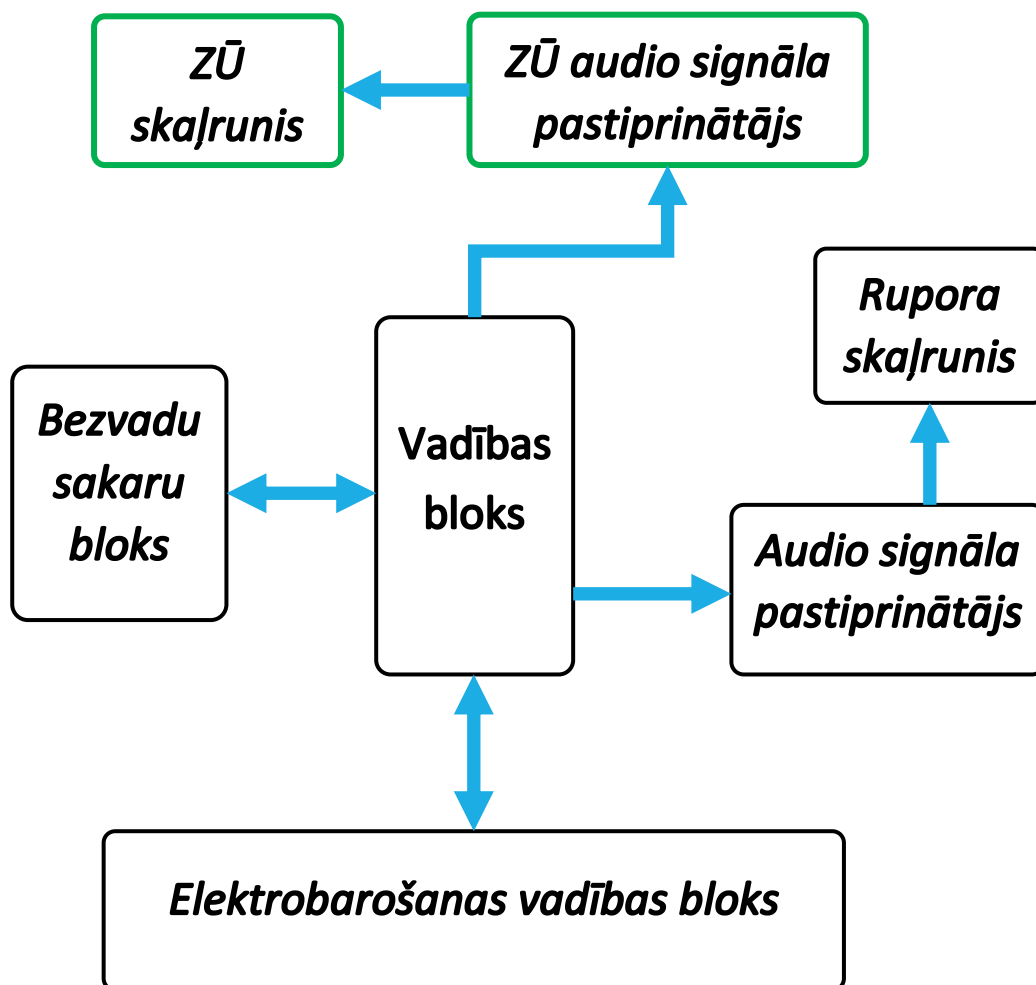
5. att. parādītājā shēmā ir divi jauni bloki, kas būs izvietoti tikai ūdens modulī un vēl netika aprakstīti. Tie ir ar zāļu krāsu izdalīti zemūdens skaļrunis un pirms tā esošais pastiprinātājs.

Zemūdens skaļrunis:

1. Raidīt signālu ar tādu līmeni, kas būtu pietiekams putnu dzirdes traucēšanai, bet neradītu dzirdes orgānu bojājumus;

ZŪ audio signāla pastiprinātājs:

1. Pastiprināt signālu, kas nāk no vadības bloka, līdz zemūdens skaļrunim nepieciešamam līmenim.
2. Veikt zemūdens skaļruņa impedances salāgošanu ar pastiprinātāja izejas kaskādi maksimāla lietderības koeficienta sasniegšanai.



5. att. VŪM blokshēma

VŪM bloku specifikācijas

LIELAUDĪGS ZEMŪDENS SKAĻRUNIS

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Frekvenču josla	500 Hz – 20 kHz
Maksimālais izejas signāla līmenis	vismaz 175dB/uPa/m@1kHz
Maksimālais darba dziļums	vismaz 5 m
Darba temperatūra	0 °C - 35 °C
Maksimālais svars	līdz 10 kg
Barošanas/signāla kabelis. Garums.	vismaz 5 m

Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedijamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

MAZJAUDĪGS ZEMŪDENS SKAĻRUNIS

Parametrs	Vērtība, mērvienība
Frekvenču josla	500 Hz – 20 kHz
Maksimālais izejas signāla līmenis	vismaz 100 dB@1 W@1 m
Maksimālais darba dziļums	vismaz 5 m
Darba temperatūra	0 °C - 35 °C
Maksimālais svars	līdz 5 kg
Izejas jauda	vismaz 20 W
Barošanas/signāla kabelis. Garums.	vismaz 5 m

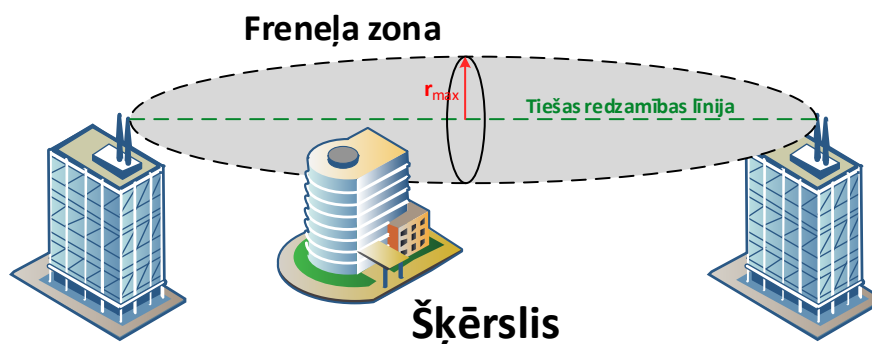
1.2. HAOS moduļu modelēšanas dati

Projekta realizācijas sākuma stadijā datormodelēšana ir nepieciešama lai varētu pareizi izvēlēties konkrētus komponentus un risinājumus, kas var būtiski saīsināt izstrādes laikus un izmaksas.

1.2.1. Bezvadu sakaru bloka parametru modelēšana

Freneļa zona

Gadījumā, ja datu pārraide notiek izmantojot radiokanālu, ārkārtīgi svarīgi lai sveši objekti nebūtu ne tikai vizuālā līnijā, kas savieno antenas, bet arī tās apkārtnē. Šo telpas daļu starp raidītāja un uztvērēja antenām sauc par Freneļa zonu – sk. 6. att.



6. att. Freneļa zonas un to raksturojošie parametri

Maksimālo rādiusu var aprēķināt pēc formulas:

$$r_{max} = 17,31 \times \sqrt{\frac{L}{4 \times f}} \text{ [m]},$$

kur: L – attālums starp antenām [km]; f – darba frekvence [GHz].

Attālums 500 metri

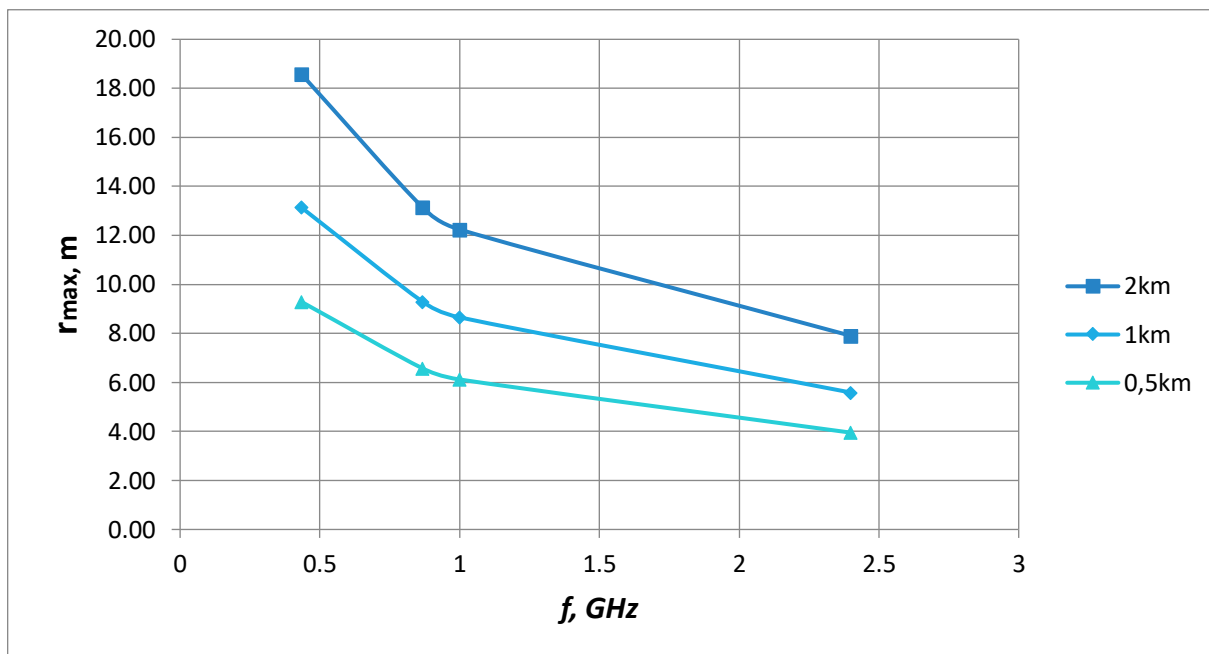
f , GHz	0,434	0,868	1	2,4
r_{max} , m	9,29	6,57	6,12	3,95

Attālums 1000 metri

f , GHz	0,434	0,868	1	2,4
r_{max} , m	13,14	9,29	8,66	5,59

Attālums 2000 metri

f , GHz	0,434	0,868	1	2,4
r_{max} , m	18,58	13,14	12,24	7,90

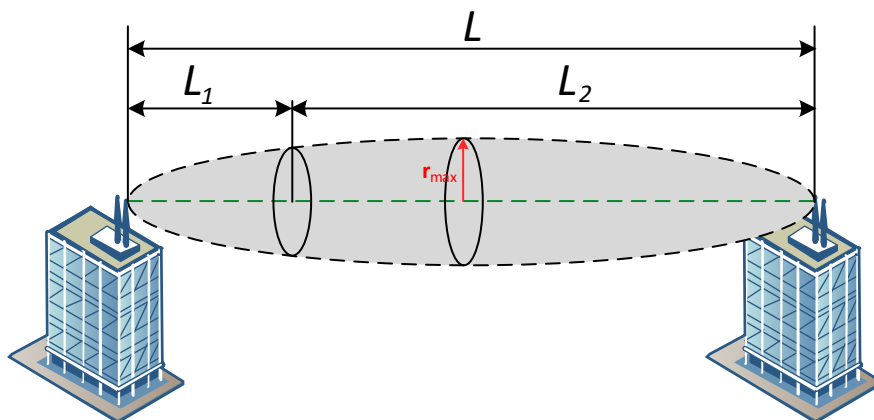


7. att. Freneļa zonas maksimāla rādiusa atkarība no darba frekvences dažiem attālumiem

Zonas rādiuss ir vienāds maksimālām tikai centrā. Līdz ar būtu labi zināt zonas rādiusu arī citās vietās:

$$r = 17,3 \times \sqrt{\frac{1}{f} \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}} \text{ [m]},$$

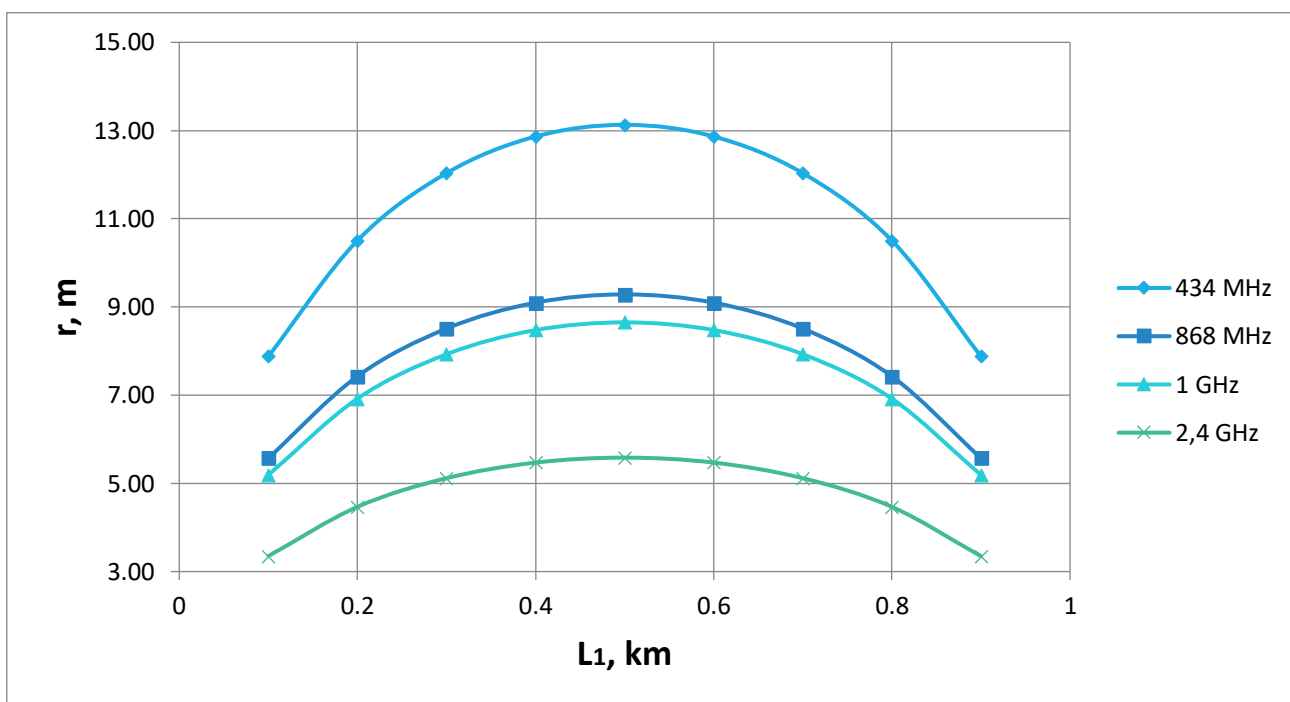
kur: f – darba frekvence [GHz]; L_1 un L_2 – attālums līdz aprēķinu punktam no abām antenām [km].



8. att. Konkrēta punkta Freneļa zonas rādiusa novērtēšanas princips

Zemāk tiek doti aprēķinu rezultāti dažām frekvencēm, gadījumā, ja attālums starp antenām ir 1 kilometrs.

L_1, km	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
L_2, km	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
$f = 434 MHz$									
r, m	7,88	10,50	12,03	12,86	13,13	12,86	12,03	10,50	7,88
$f = 868 MHz$									
r, m	5,57	7,43	8,51	9,10	9,28	9,10	8,51	7,43	5,57
$f = 1 GHz$									
r, m	5,19	6,92	7,93	8,48	8,65	8,48	7,93	6,92	5,19
$f = 2,4 GHz$									
r, m	3,35	4,47	5,12	5,47	5,58	5,47	5,12	4,47	3,35

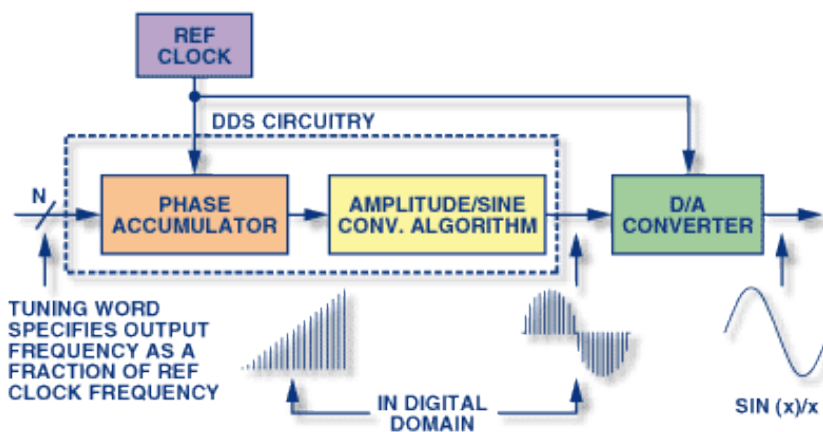


9. att. Freneļa zonas rādiusa atkarība koordinātes dažām frekvencēm

No aprēķiniem ir redzams, ka jo mazāk ir darba frekvence, jo lielāk starpība starp minimālu un maksimālu Freneļa zonas rādiusiem (frekvencei $2,4GHz$ $r_{0,5}-r_{0,1}=2,23m$ bet frekvencei $434MHz$ $r_{0,5}-r_{0,1}=5,25m$).

1.2.2. AD9850 ģenerācijas moduļa modelēšana

Signālu ģenerēšanai var izmantot speciālas sintezēšanas mikroshēmas. Viens no vispopulārākiem variantiem ir DDS (Direct Digital Synthesizers – tieša digitāla sintēze).



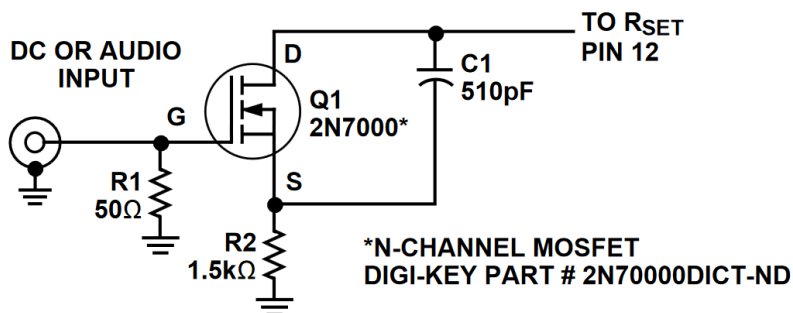
<http://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/all-about-direct-digital-synthesis.html>

10. att. DDS darbības princips

Dotas metodes priekšrocība ir: ļoti liela izšķirtspēja (dažās ierīcēs līdz 0,00001Hz) un nemainīga taktu frekvence kuru viegli var nofiltrēt.

Mikroshēmai AD9850 frekvenču diapazons no 1Hz līdz 40MHz. Līdz ar to var ģenerēt signālus arī ultraskaņā diapazonā. Frekvenču regulēšana notiek digitāli, izmantojot paralēlo vai virknes interfeisu.

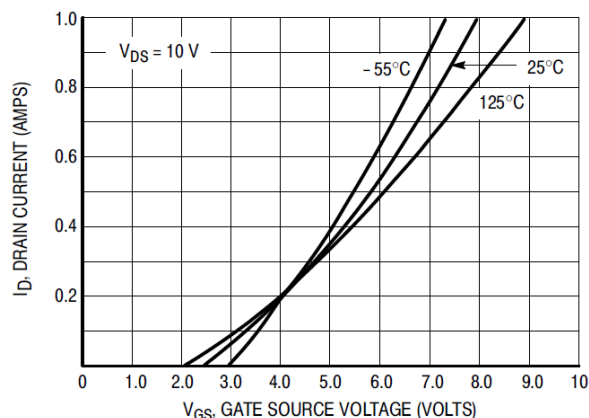
Sarežģīto signālu ģenerēšanai ir nepieciešama arī amplitūdas modulācija. Pašā mikroshēmā dota parametra digitāla regulēšanas nav – izejas spriegums ir nemainīgs un ir atkarīgs no rezistora lieluma, kas pieslēgts pie AD9850 kontakta Rset. Bet šo funkciju var realizēt izmantojot nelielu ārēju shēmu.



<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-423.pdf>

11. att. Izejas signāla amplitūdas regulēšanas shēma

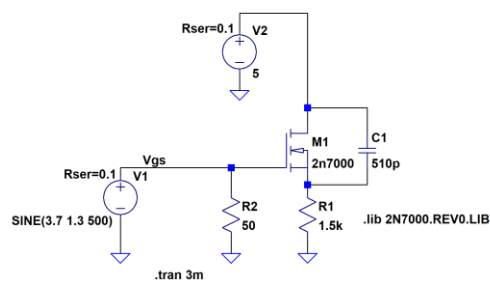
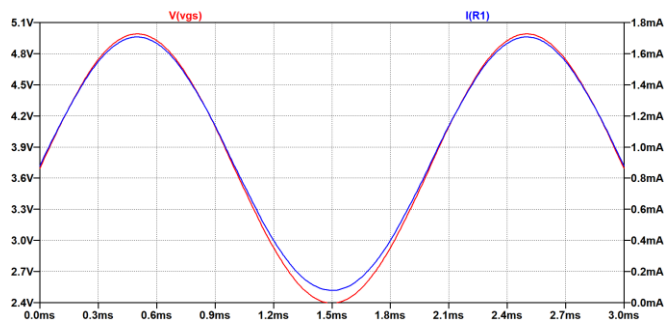
Tranzistora tehniskā aprakstā var redzēt, ka ierīce sāks strādāt ja aizvara spriegums U_{GS} pārsniedz 2-3V.



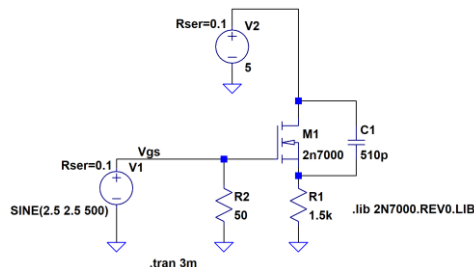
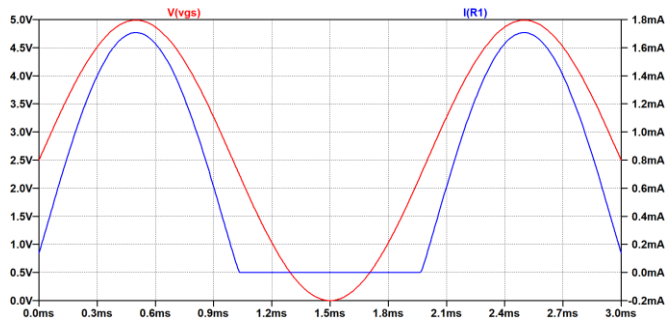
<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/2N7000-D.PDF>

12. att. Tranzistora 2n7000 pārvades raksturlīknes

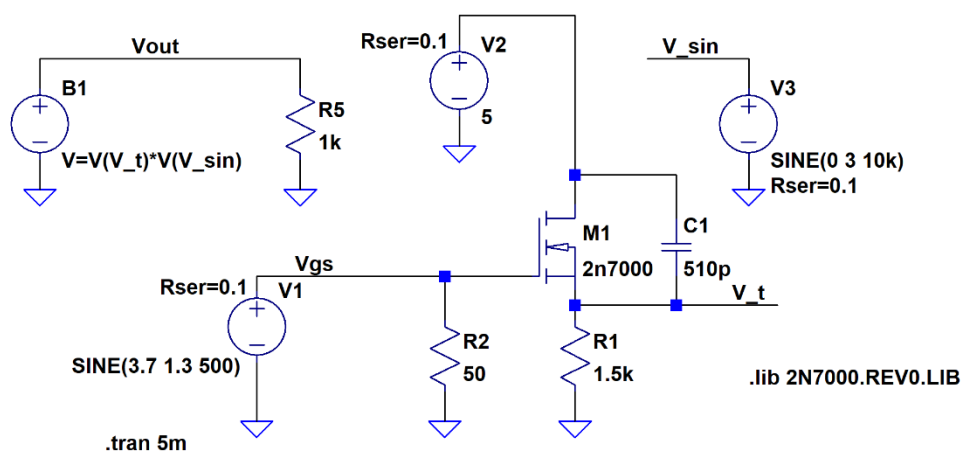
To var arī redzēt simulācijā. Pirmā grafikā aizvara spriegums U_{GS} mainās diapazonā 2,4 – 5V un rezultātā strāva rezistorā R1 mainīsies proporcionāli saglabājot savu formu.



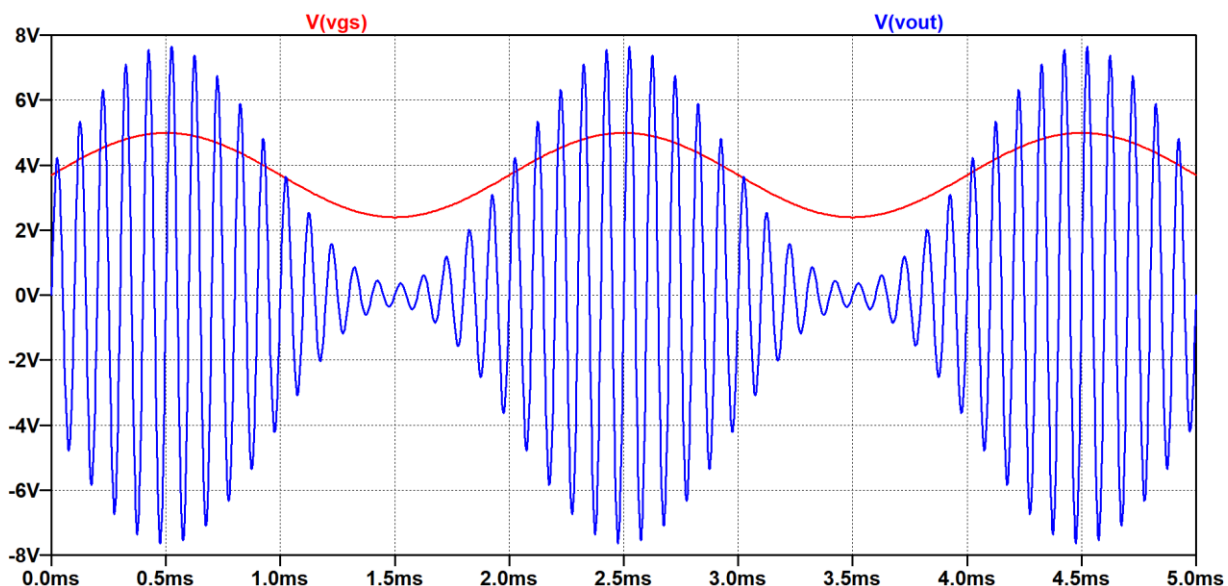
Otrā simulācijā aizvara spriegums U_{GS} mainās jau no 0 līdz 5V un rezultātā strāva rezistorā R1 tiks nogriezta.

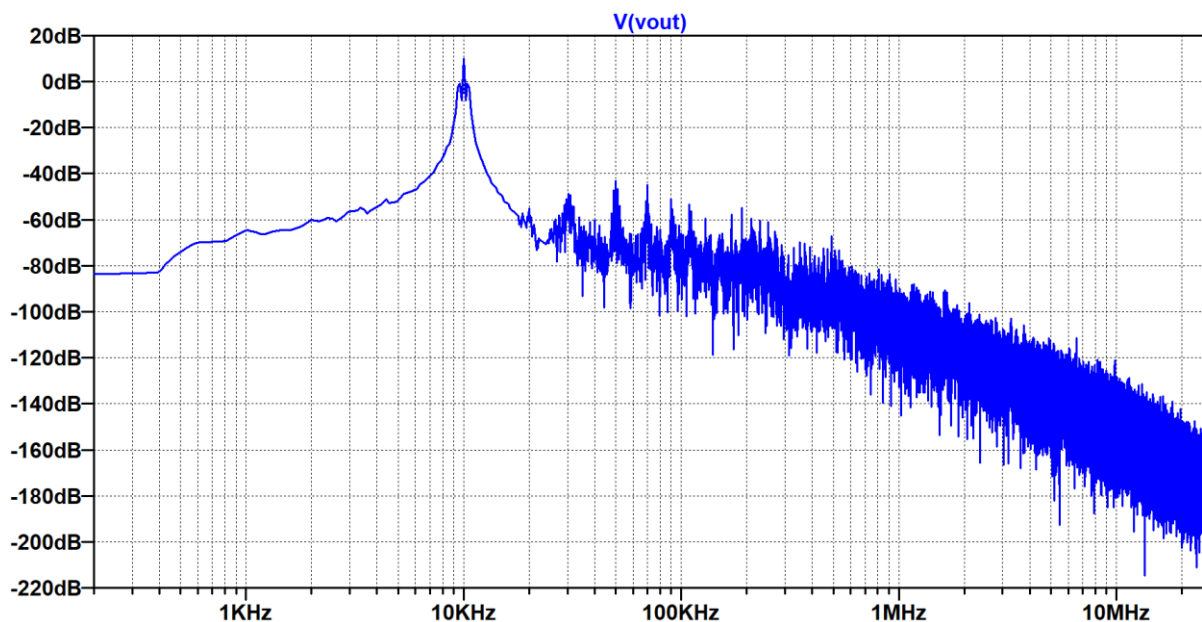


Praksē tas nozīmē nelineārus kropļojumus. Tas var redzēt analizējot spektrālās diagrammas.

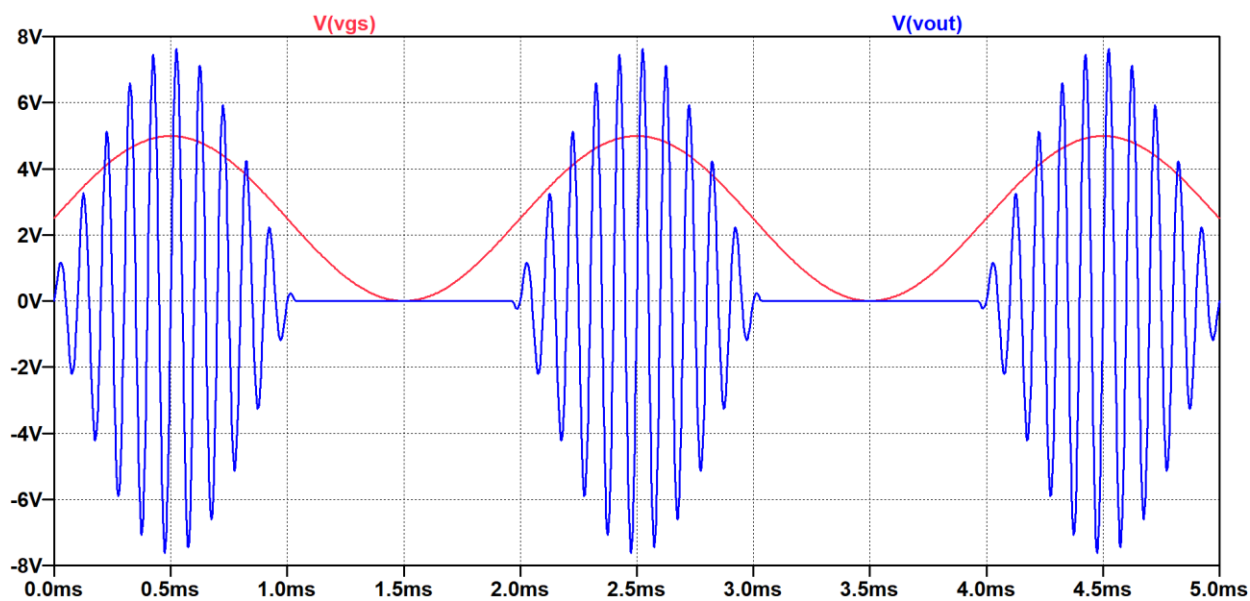


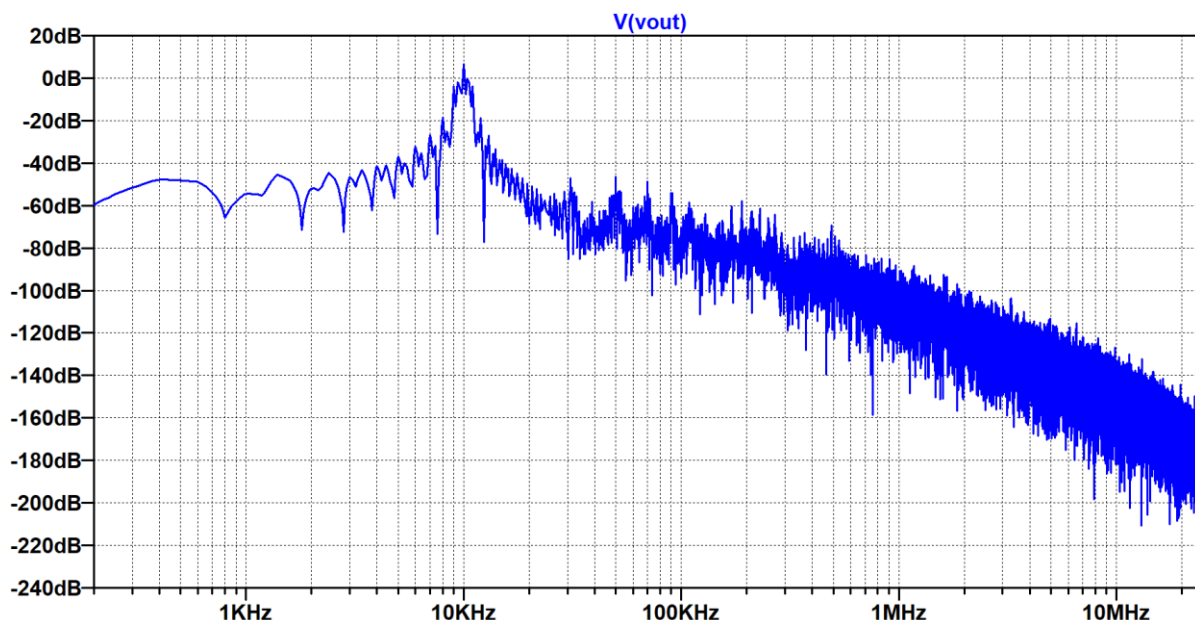
13. att. Modulēta signāla kvalitātes izpētes simulācijas shēma un parametri





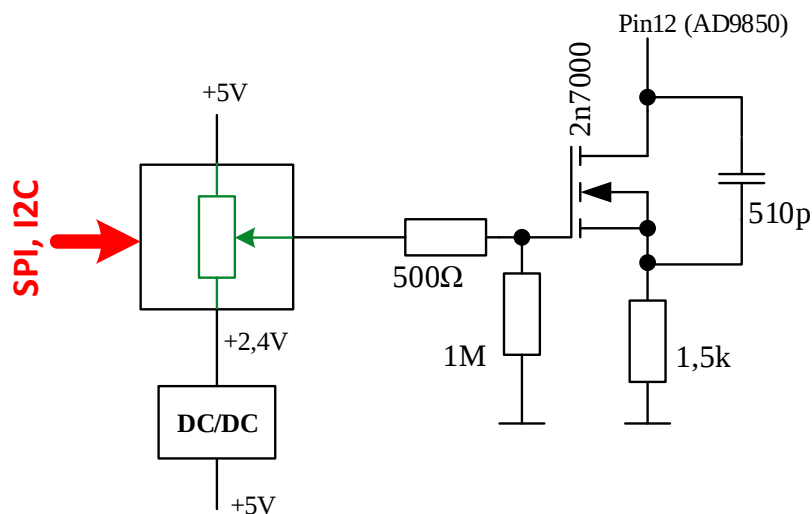
14. att. Modulēta signāla grafiki un spektrs bez nelineāriem kropļojumiem





15. att. Modulēta signāla grafiki un spektrs ar nelineāriem kropļojumiem

Ņemot vērā augstākminēto, var piedāvāt regulēšanas shēmu. Digitālai regulēšanai var izmantot “ciparu rezistoru” (piem., MCP4161) vai ciparu-analogo pārvēidotāju (pie., DAC0800). Jebkurā gadījumā būs nepieciešams DC/DC pārvēidotājs lai paceltu minimālu aizvara spriegumu līdz 2,4V.



16. att. Digitālas regulēšanas realizācija izmantojot “ciparu rezistoru”

1.2.3. Elektrobarošanas bloka sastāvdaļu modelēšana

Projektējot mūsdienīgas elektroniskas iekārtas ir nepieciešams nodrošināt ne tikai to lielo funkcionalitāti, bet arī augsto energoefektivitāti. It īpaši tas ir svarīgi veidojot autonomas sistēmas, kas atradīsies tālu no maiņstrāvas rūpnieciskā tīkla. Sistēmas līmeņa elektrobarošanas bloka modeļa izveidei tika izvēlēta *MATLAB/Simulink* programmatūra, kas ietver sevī milzīgu elementu skaitu gan elektronisko shēmu, gan elektrotehnisko slēgumu modelēšanai. Šeit ir svarīgi atzīmēt ka precīzi dažādu bloku modeļi uz doto brīdi vēl nav pieejami, jo nav nopirkti attiecīgi komponenti (piemēram, lāzeri, skaļruņi, skaņas signālu pastiprinātāji). Taču zemāk ir aprakstīti modeļi, kas var tikt ātri modificēti, piemēram, mainīti parametri un tos varēs izmantot katrā prototipa izstrādes etapā, it īpaši optimizācijas laikā.

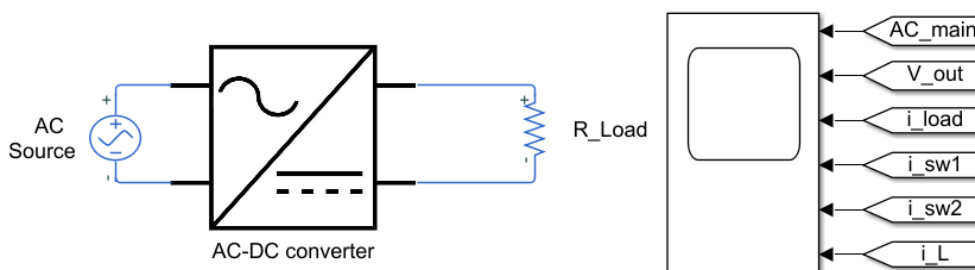
Simulink vides apskats.

Simulink bibliotēka ietver sevī gan blokus sistēmu matemātisko modeļu izveidei, gan dažādu iekārtu fizikālo modeļu aprēķinam. Elektronisko shēmu modelēšanai ir ērti izmantot *Simscape* ietilpstošas bloku kopnes. *SimPowerSystems* var izmantot energoelektronikas shēmu modelēšanai, bet *SimElectronics* – standarta elektronisko shēmu modelēšanai. Pieejamas elementu bibliotēkas ļauj veikt ne tikai sistēmas līmeņa datormodelēšanu, bet arī aprēķināt strāvu un spriegumu signālus noteiktajos ķēžu posmos, piemēram, strāvu caur jaudīgiem tranzistoriem. Tas, savukārt, ļaus izvēlēties pareizus komponentus prototipa izstrādes stadijā.

AC/DC pārveidotāja *Simulink* modelis.

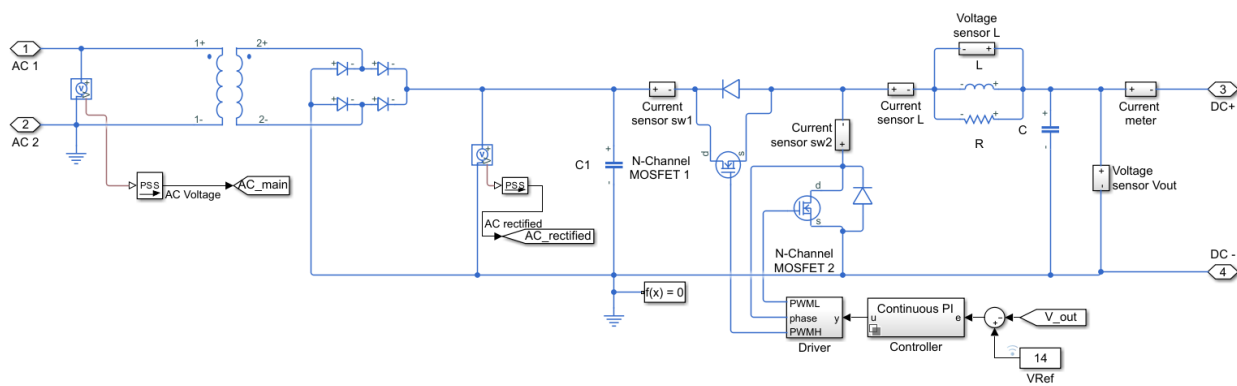
Saskaņā ar 4. att. parādīto blokshēmu iekārtas elektrobarošanas sistēmā ir plānots izmantot pārveidotāju no maiņstrāvas uz līdžstrāvu, jeb AC/DC pārveidotāju. Uz doto brīdi visa GaSaM moduļa patērēta jauda vēl nav zināma, jo nav iepirkti un notestēti visi tā komponenti. Taču ir iespējams, izmantojot *Simulink* modeli, prognozēt strāvas lielumu caur svarīgiem elementiem (spēka diodēm, tranzistoriem un induktivitātes spolēm) atkarībā no patērētas jaudas. Izveidotais modelis vēlāk tiks pilnveidots un tiks vēlāk izmantots iekārtas konstrukcijas optimizācijā.

17. att. ir parādīts izveidots AC/DC pārveidotāja modelis.



17. att. AC/DC pārveidotāja *Simulink* modelis. Scope blokā var izvadīt jebkuru interesējošo strāvas vai sprieguma signālu

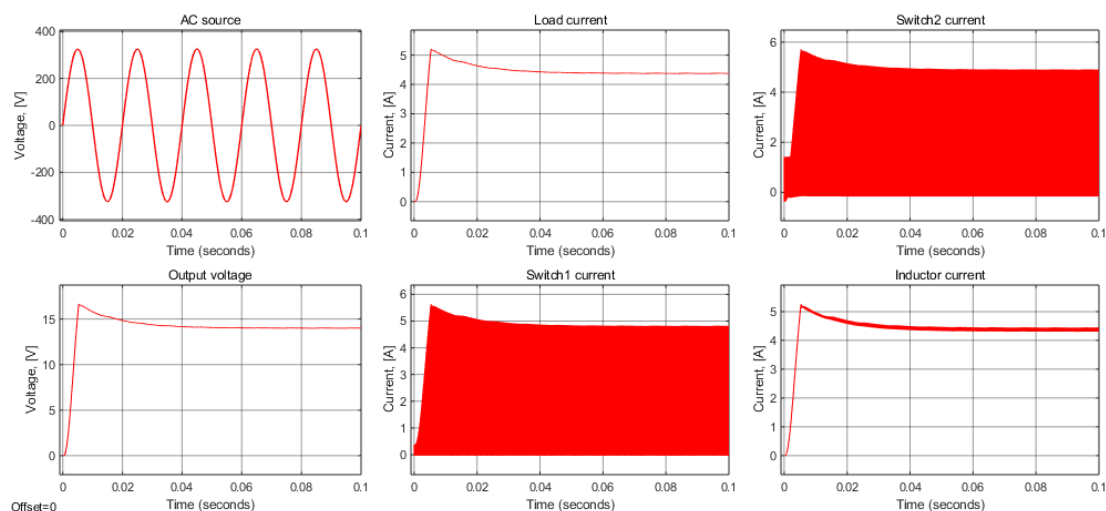
AC/DC pārveidotāja izejas spriegums ir 12 V. Ar rezistora R_{Load} palīdzību ir iespējams mainīt slodzes patērēto strāvu. Savukārt, *Scope* bloks ir nepieciešams dažādu interesējošo signālu laika diagrammu attēlošanai. AC-DC converter bloks ir tā saucama apakšsistēma (*Subsystem*), kuru atvērot var apskatīt pārveidotāja elektrisko shēmu. Tā ir parādīta 18. att.



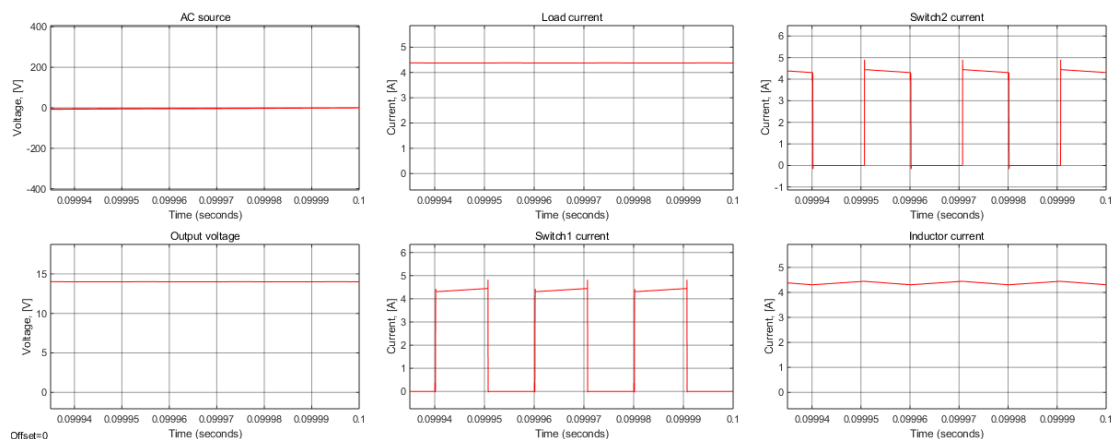
18. att. AC-DC converter apakšsistēmas elektriskā shēma

Izveidotā AC/DC pārveidotāja elektriskā shēma ietver sevī: transformatoru; diodzu tiltiņu un sinhrono pazeminošo pārveidotāju ar vadības shēmu, ka arī strāvu un spriegumu zondes - tā darbību raksturojošiem svarīgāko signālu apskatei.

19.a. att. un 19.b. att. ir parādītas dažādas laika diagrammas pie izejas jaudas 60 W un $R_{Load} = 3,2 \Omega$. Datormodelēšanas rezultātā ir iespējams izpētīt shēmas uzvedību, piemēram, mainoties slodzes strāvai vai kītot ieejas sprieguma amplitūdai.



19.a. att. AC/DC pārveidotāja darbību raksturojošas laika diagrammas pie modelēšanas laika 100 ms



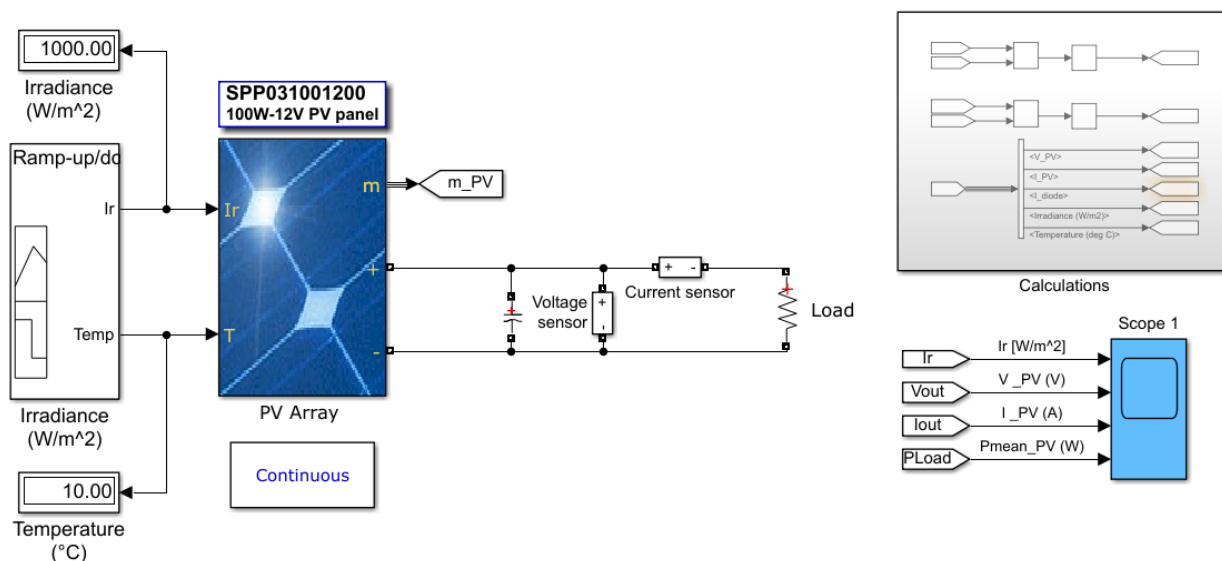
19.b. att. AC/DC pārveidotāja darbību raksturojošas laika diagrammas. Ir parādīti daži impulsa shēmas pārslēgšanas cikli

Savukārt tabulā ir apkopoti datormodelēšanas rezultātā iegūtie dati, kas ļauj novērtēt caur induktivitātes spoli un spēka tranzistoriem plūstošas maksimālas strāvas lielumu pie atšķirīgam slodzes pretestības vērtībām.

R_{sl}, Ω	I_{L_peak}, A	I_{sw1_peak}, A	I_{sw2_peak}, A	I_{out_peak}, A	V_{out_peak}, V	P_{out}, W
9.8	1.5	1.87	1.79	1.43	14.01	20.03
4.9	2.93	3.30	3.38	2.85	14.01	39.93
3.2	4.44	4.81	4.9	4.37	14.01	61.22
2.45	5.78	6.15	6.23	5.71	14.01	80

Saules paneļa *Simulink* modelis

Simulink bloku bibliotēkā ir atrodams arī saules paneļa modelis, ko ir iespējams izmantot, projektējot autonomas sistēmas, kas atradīsies vietās bez pieslēguma maiņstrāvas tīklam. 20. att. ir parādīts *Simulink* modelis, kas ir paredzēts 100 W, 12 V saules paneļa parametru izpētei.



20. att. Saules paneļa parametru mērījumos izmantotā shēma

Saules paneļa modeli raksturojoši parametri ir parādīti 21. att. Tie ir ievadīti atbilstoši iepirkumā pieteiktā saules paneļa ražotāja sniegtiem datiem. Savukārt 22. att. ir redzams kā saules paneļa izejas spriegums, strāva un jauda ir atkarīgas no starojuma intensitātes. Šāda veidā var modelēt, piemēram, akumulatora uzlādēšanas procesu dienas gaišajā laika atbilstoši noteiktajam starojuma intensitātes profilam. Saules paneļa izejas jaudas atkarība no starojuma intensitātes pie atšķirīgām slodzes pretestības vērtībām un apkārtējās vides temperatūras vienādu ar +25 °C ir parādīti 23. att. No grafika var secināt, ka slodzes pretestība var būtiski ietekmēt maksimālo paneļa izejas jaudu pie vienāda starojuma intensitātes līmeņa. Līdz ar to projektēšanas un prototipa izveides stadijā būs nepieciešams pievērst šim jautājumam īpašu uzmanību lai iegūtu lielāku efektivitāti.

Block Parameters: PV Array

PV array (mask) (link)

Implements a PV array built of strings of PV modules connected in parallel. Each string consists of modules connected in series.
Allows modeling of a variety of preset PV modules available from NREL System Advisor Model (Jan. 2014) as well as user-defined PV module.

Input 1 = Sun irradiance, in W/m2, and input 2 = Cell temperature, in deg.C.

Parameters **Advanced**

Array data

Parallel strings

Series-connected modules per string

Module data

Module: **User-defined**

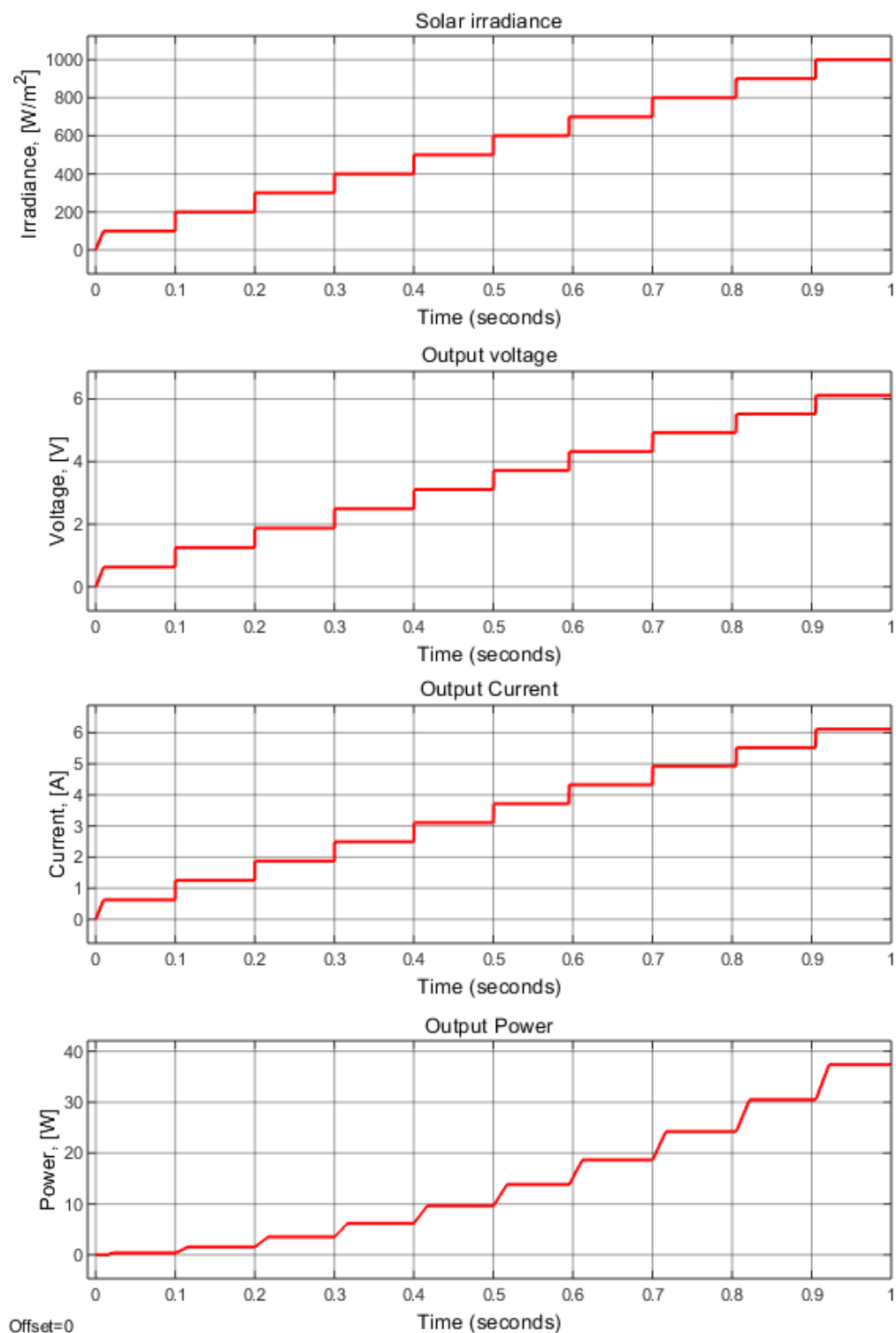
Maximum Power (W) Cells per module (Ncell)

Open circuit voltage Voc (V) Short-circuit current Isc (A)

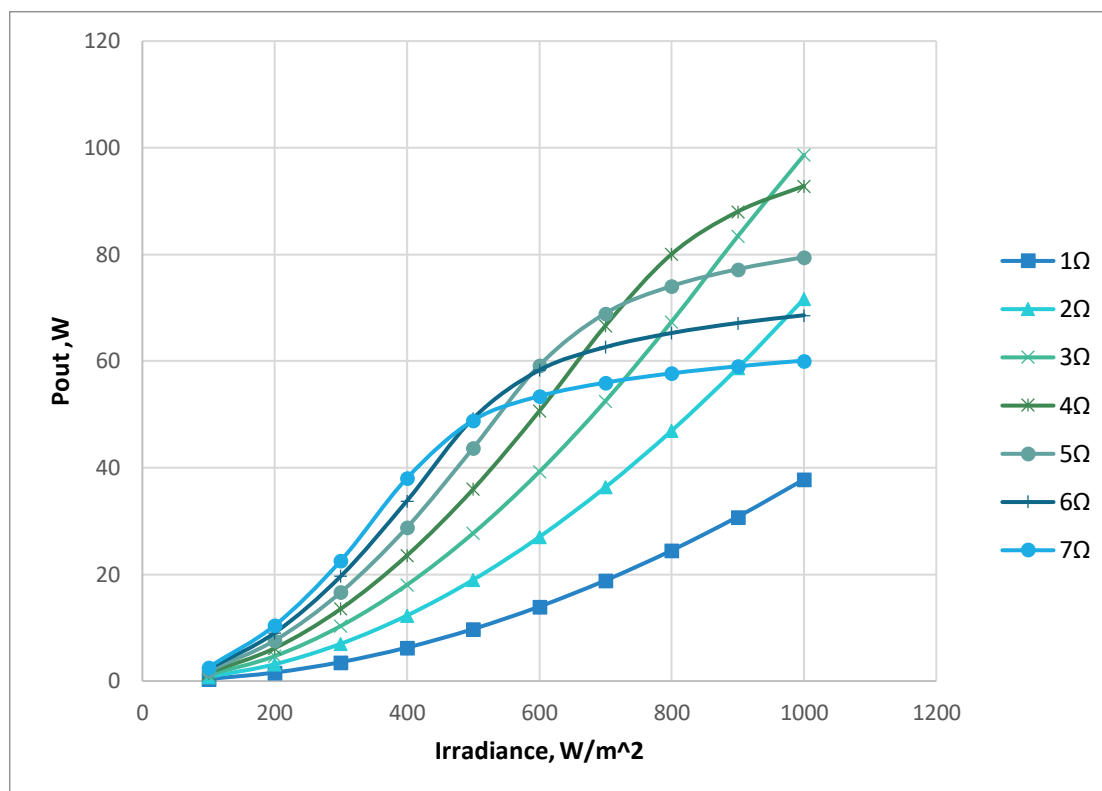
Voltage at maximum power point Vmp (V) Current at maximum power point Imp (A)

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C) Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)

21. att. Saules paneļa bloka parametri.



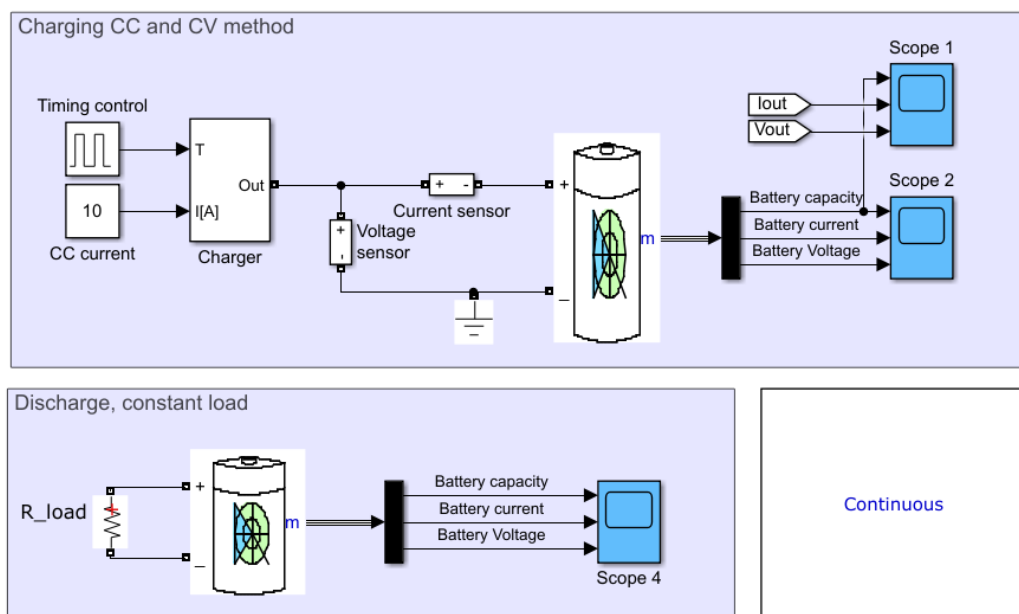
22. att. Saules paneļa galveno izejas parametru atkarība no starojuma intensitātes



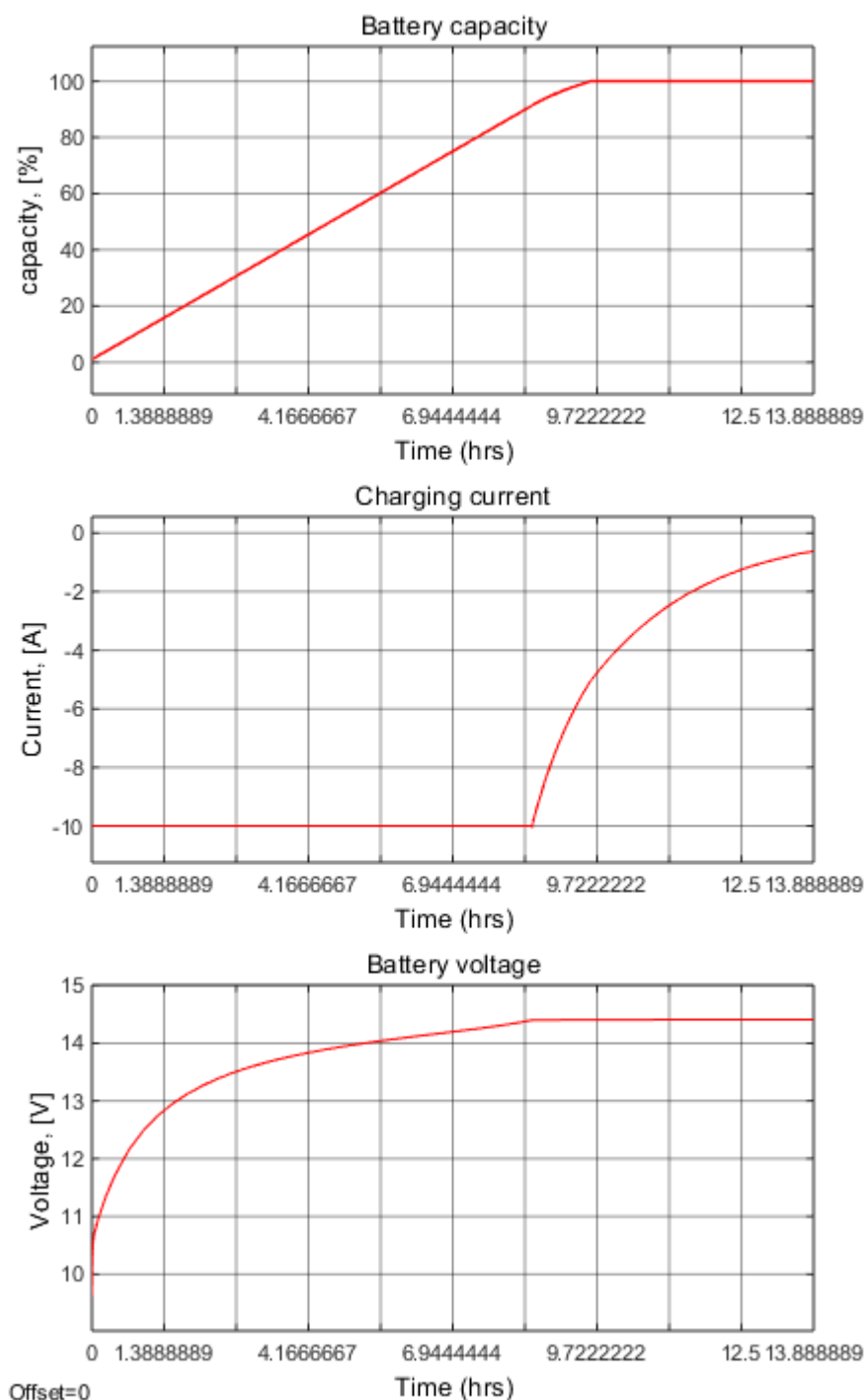
23. att. Saules paneļa izejas jaudas atkarība no starojuma intensitātes pie atšķirīgām slodzes pretestības vērtībām un apkārtējas vides temperatūras +25 °C

Akumulatora Simulink modelis

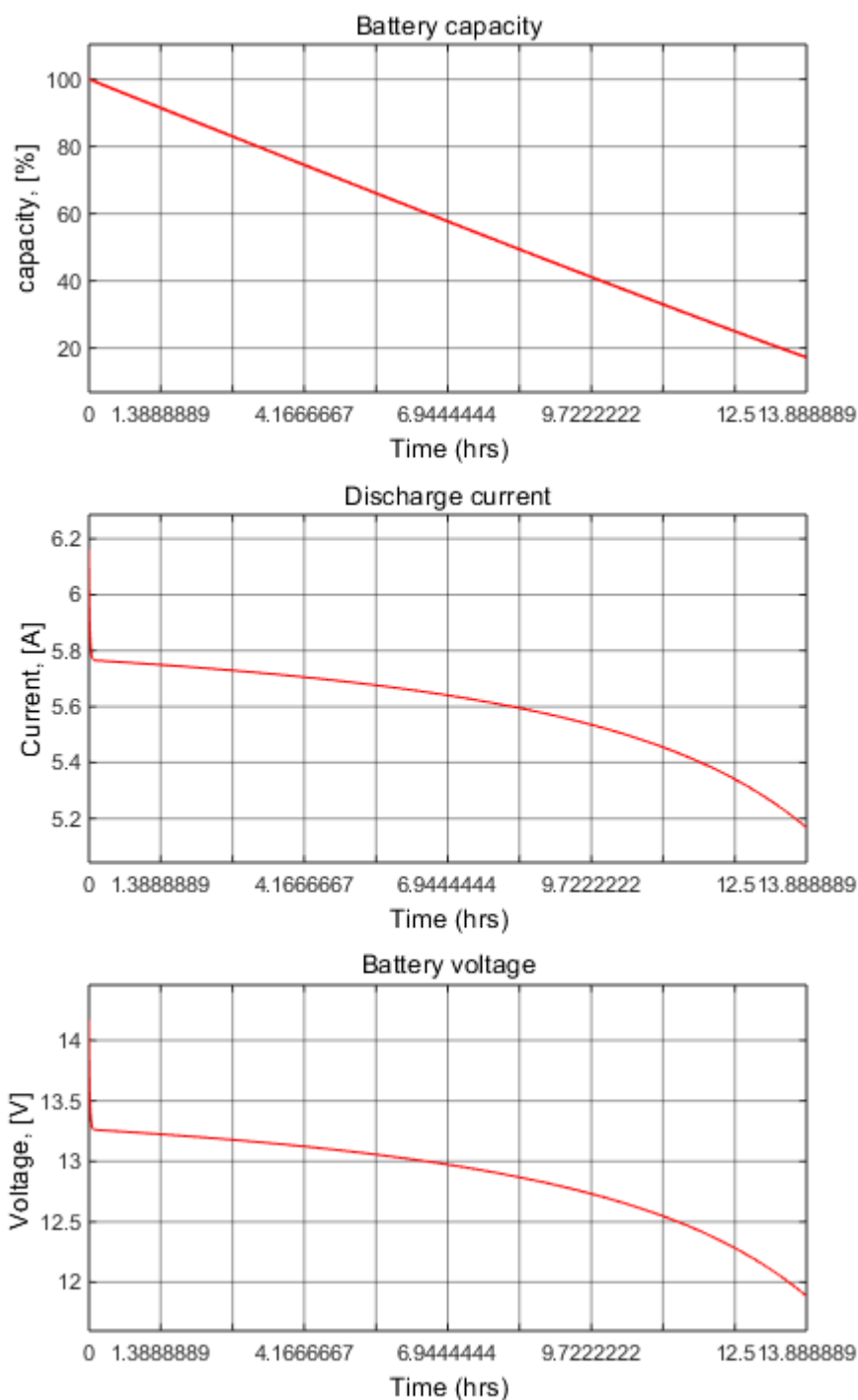
Simulink bloku bibliotēkā ir pieejams arī svina akumulatora modelis. 24. att. ir parādīts *Simulink* modelis ar ko ir iespējams veikt akumulatora uzlādes/izlādes procesu datormodelēšanu. Tas ļauj novērtēt, piemēram, sistēmas autonomas darbības laiku pie noteiktas slodzes. Savukārt, 25. att. ir parādīts akumulatora uzlādes process pēc konstantas strāvas – konstanta sprieguma metodes. Ērti ir iespējams novērtēt uzlādes laiku, noteiktam laikam atbilstošo kapacitāti, kā arī sprieguma vērtību. 26. att. ir parādīts akumulatora izlādes process, kad tam ir pieslēgta konstanta slodzes pretestība ($R_{sl} = 2.3 \Omega$). Kad būs izvēlēti visi moduļu komponenti R_{sl} tiks aizstāta ar sarežģītāku slodzes modeli.



24. att. Simulink modelis akumulatora uzlādes/izlādes procesu izpētei



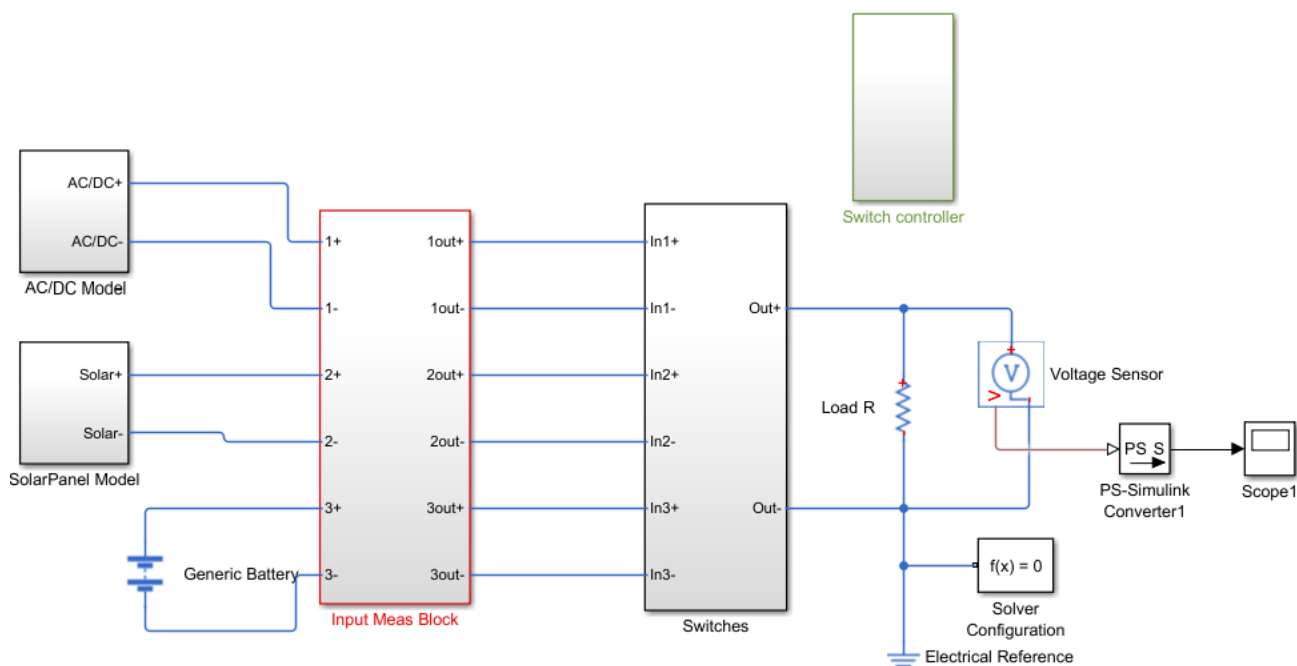
25. att. Akumulatora uzlādes procesu raksturojošie parametri



26. att. Akumulatora izlādes procesu raksturojošas laika diagrammas

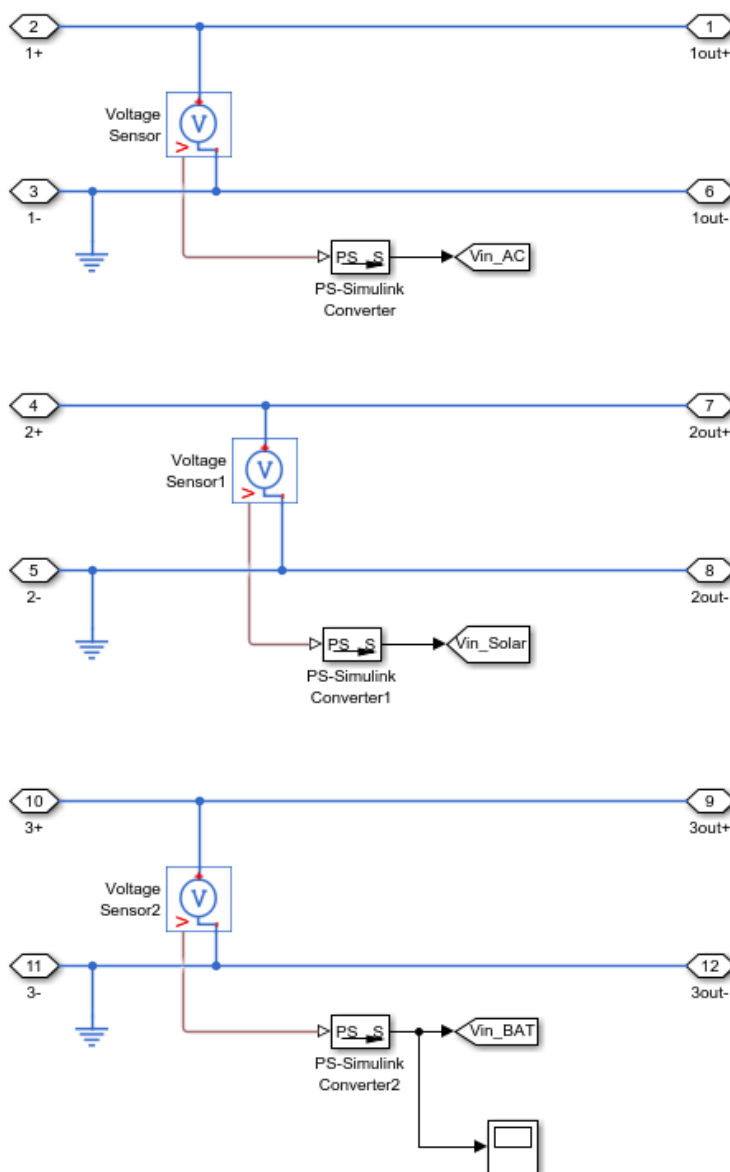
Mērījumu/komutācijas shēmas *Simulink* modelis

Elektrobarošanas bloka vadības algoritma pārbaudei tika izveidots mērījumu/komutācijas shēmas modelis, kas ir parādīts 27. att. Tā uzdevums ir noteikt pieslēgtos enerģijas avotus (maiņstrāvas tīkls, saules panelis, akumulators) un darbināt slodzi atbilstoši esošam pieslēgumam. Šis modelis ļauj pārbaudīt vadības algoritma pareizību pirms mikrokontroliera programmēšanas, kā arī modelēt dažādus iekārtas darbības scenārijus (piemēram, patērētas strāvas izmaiņas) un avārijas gadījumus.



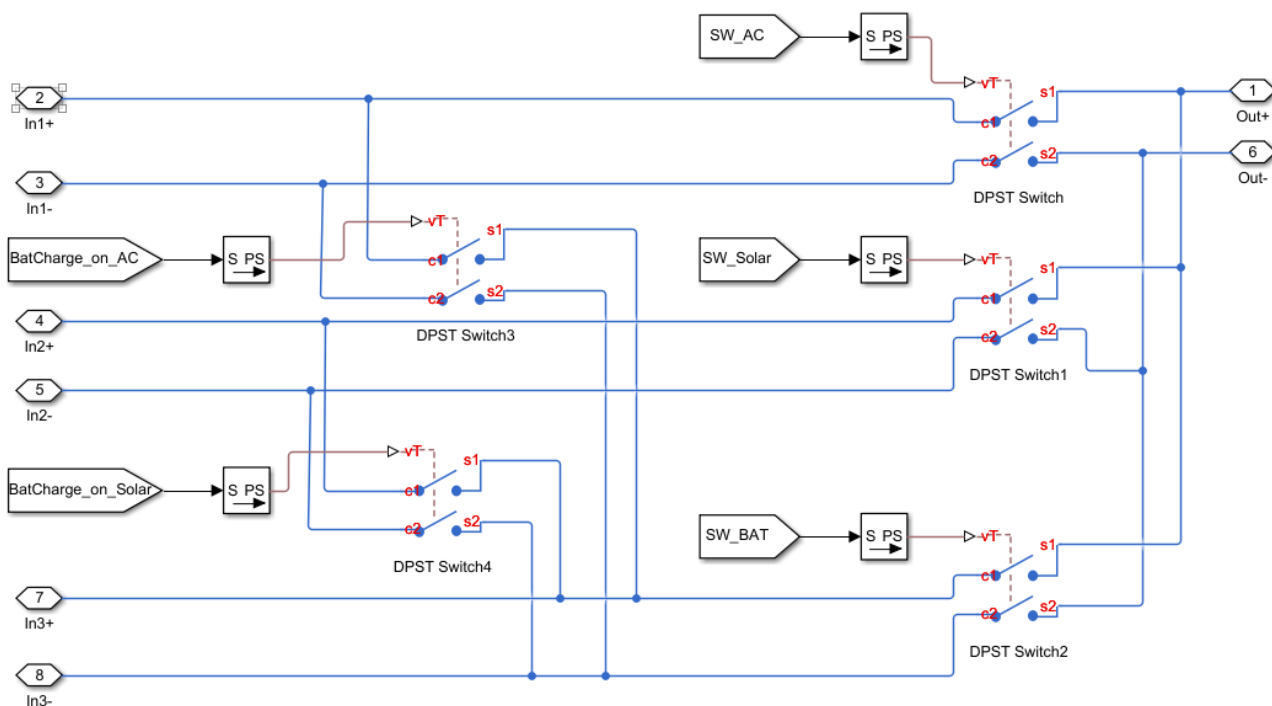
27. att. Mērījumu/komutācijas shēmas *Simulink* modelis

Input Meas Block shēma ir parādīta 28. att. Pamatā tiek izmantoti sprieguma mērītāji, kas nosuta katrā ieejā nomērītas sprieguma vērtības uz slēdžu kontroliera bloku. Nepieciešamības gadījumā bloku ir iespējams papildināt arī ar strāvas mērītājiem. Taču ir jāņem vērā, ka reālas shēmas gadījumā tas var novest pie pašizmaksu palielināšanas, kā arī shēmas sarežģītības pakāpes pieauguma.



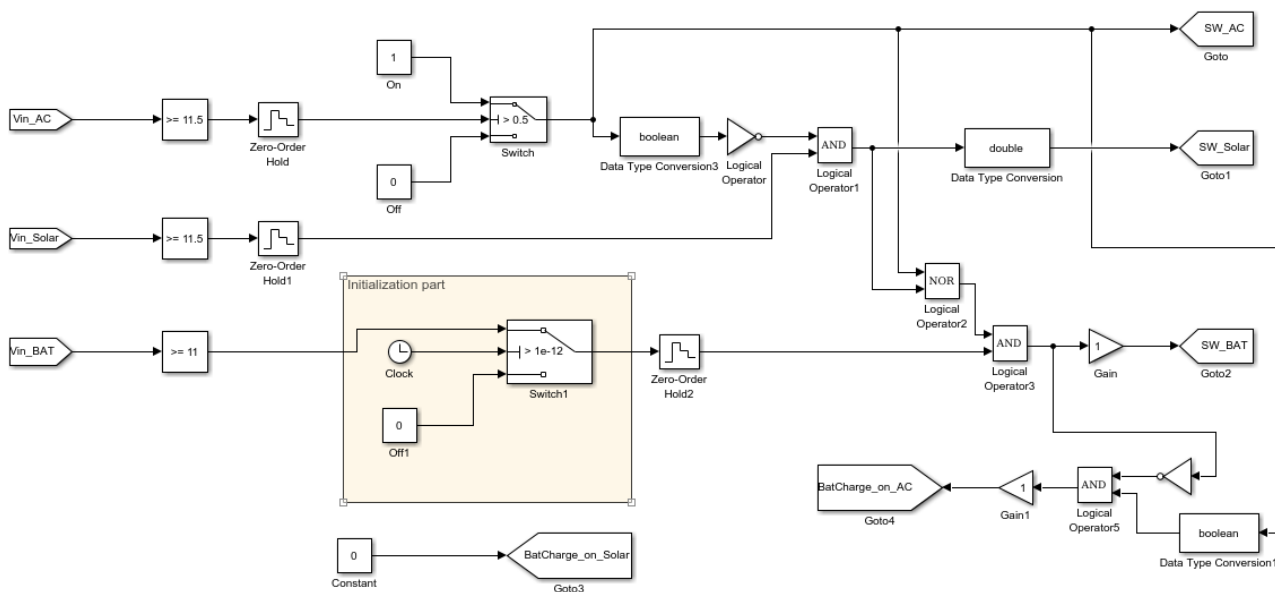
28. att. Ieejas spriegumu mērīšanas bloka shēma

Zem apakšsistēmas *Switches* atrodas 29. att. parādīta shēma. Slēdžu komutācija notiek saskaņā ar vadības bloka *Switch Controller* signāliem. Slodzi ir iespējams pieslēgt pie AC/DC pārveidotāja, saules paneļa vai akumulatora. No AC/DC pārveidotāja arī notiks akumulatora uzlāde. Ja iekārta ir pieslēgta maiņstrāvas tīklam, tad akumulators pilda rezerves enerģijas avota funkcijas avārijas gadījumos. Aprakstīto energoapgādes algoritmu realizē *Switch Controller* bloks. Tā shēma ir parādīta 30. att.



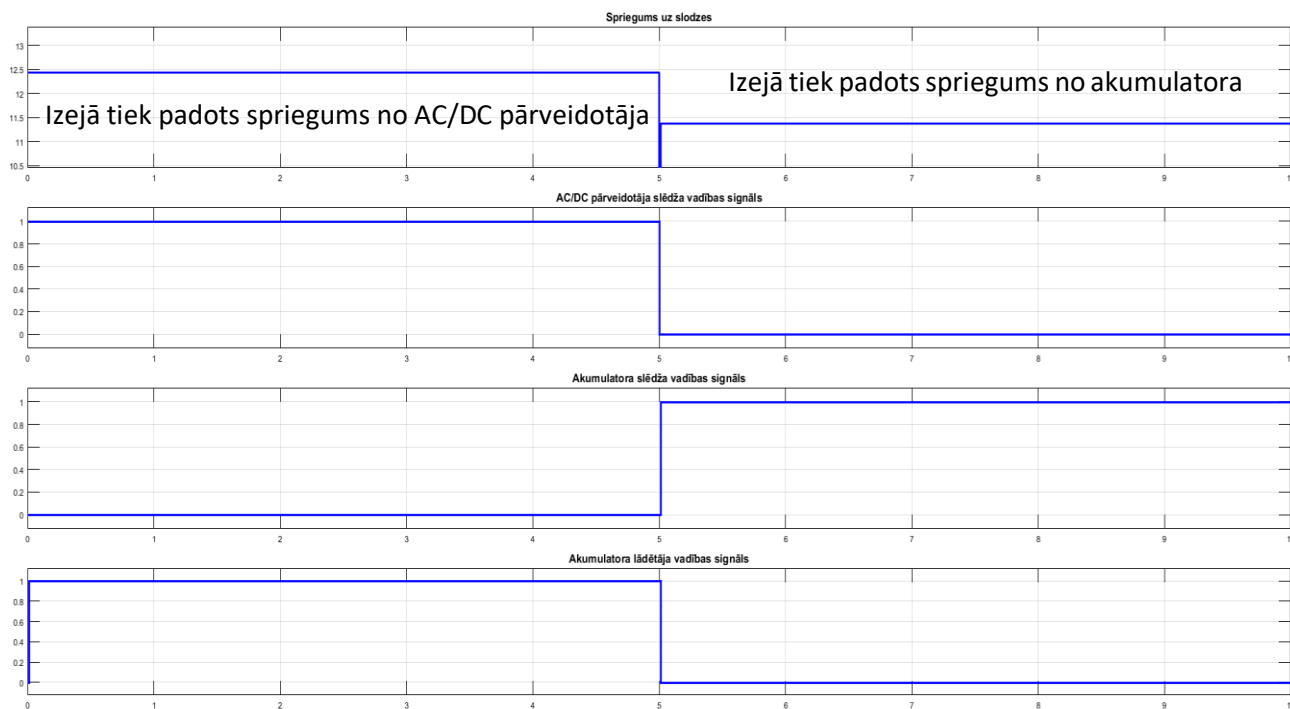
29. att. Vadāmo slēdžu savienojuma shēma – apakšsistēma Switches

Slēdžu vadības bloks *Switch Controller* ir veids no *Simulink* standarta blokiem, kas palīdz realizēt vienkāršas matemātiskās un loģiskās operācijas.



30. att. *Switch Controller* apakšsistēma

31. att. ir parādīts vadības shēmas darbības piemērs gadījumā, kad iekārtas barošanu nodrošina maiņstrāvas tīkls bet akumulators tiek izmantots kā rezerves enerģijas avots. Laikā $t = 5$ s tiek atslēgts tīkla spriegums un sistēma sāk darboties no akumulatora. Grafikā arī ir parādīti attiecīgo slēdžu vadības signāli.



31. att. Slēdžu vadības signāli. Sistēmas konfigurācija: iekārta pieslēgta pie maiņstrāvas tīkla un akumulatora, saules panelis atslēgts

1.3. Efektīvo akustisko signālu izpēte

Kā jau tika atzīmēts, viena no putnu atbaidīšanas metodēm balstās uz dažāda tipa akustisko signālu izmantošanu, ģenerējot tos gan gaisā, gan arī zem ūdens. Lai signāli būtu efektīvi, tiem ir jāpiemīt sekojošām īpašībām:

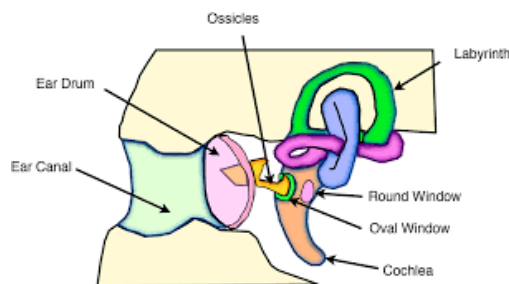
- signālam ir jābūt pietiekami skaļam, lai putni to varētu sadzirdēt;
- signālam jāatrodas putnu dzirdamības frekvenču diapazonā;
- iespējams, ka signāla ir jābūt bioloģiski nozīmīgam, radot atbilstošu efektu uz putniem;
- gan zemūdens, gan virsūdens signāliem jābūt pēc iespējas mazāks iespaids uz apkārtējo vidi, dzīvniekiem un, protams, arī dīksaimniecībā audzējamām zivīm;
- jāizslēdz putnu pierašanas iespēja, līdz ar to noteiktām signāla īpašībām nepārtraukti jāmainās (frekvence, ilgums, signāla augšanas frontes stāvums, ilgums, aizture);
- signālam ir jābūt saskaņotam ar citiem atbaidīšanas līdzekļiem- piemēram, lazērstara kustībām gar dīķa virsmu.

Lai varētu definēt prasības zemūdens un virsūdens akustisko signālu ģeneratoriem, ir jānodrošina visu minēto nosacījumu izpildīšanos, kas savukārt var tikt realizēts tikai pārzinot putnu dzirdes un noteiktu signālu uztveres īpatnības.

1.3.1. Putnu dzirdes īpatnības un jūtības diapazoni virs un zem ūdens

Putnu dzirde virs ūdens

Putnu dzirdes īpatnības atšķiras no cilvēku un citu zīdītāju dzirdes. Viena no lielākām atšķirībām ir ārējās auss trūkums, ko zīdītāji izmanto ienākošo signālu koncentrēšanai un pastiprināšanai. Tāpat putniem ir tikai viena kolumela (zīdītājiem- 3)- elements, kas nodrošina teorētisku 20x pastiprinājumu signālam, kas nāk no bungādiņas uz iekšējo ausi. Tāpat, kā cilvēkiem, iekšējā auss kalpo divu funkciju realizācijai: līdzsvara saglabāšanai un dzirdei. Dzirdi nodrošina kohleja, kas atšķirībā no zīdītāju kohlejas ir taisna un tās garums mainās atkarībā no putnu sugas. Tieši minētā komponente nodrošina konkrētā putnu dzirdes frekvenču diapazonu, t.i. garākā kohleja nodrošina labāku signālu uztveršanas jutību visā frekvenču apgabalā, kā arī izšķirtspēju starp frekvencēm.



Putnu auss iekšējā struktūra [<http://iopscience.iop.org/book/978-1-6270-5675-5/chapter/bk978-1-6270-5675-5ch2>].

Jāatceras, ka dažādām putnu sugām, tieši minēto fizioloģisko īpašību dēļ ir dažāds dzirdamo frekvenču diapazons. Informācija par daudz putnu dzirdi ir apkopotas tabulā.

Species	Lower Limit (Hz)	Most Sensitive (kHz)	Upper Limit (kHz)
Black-footed Penguin (<i>Spheniscus demersus</i>)	100	0.6-4	15
Mallard (<i>Anas platyrhynchos</i>)	300	2-3	8
Canvasback (<i>Aythya valisineria</i>)	190		5.2
American Kestrel (<i>Falco sparverius</i>)	300	2	10
Ring-necked Pheasant (<i>Phasianus colchicus</i>)	250		10.5
Turkey (<i>Meleagris gallopavo</i>)			6.6
Gull (<i>Larus ridibundus</i> ?)	100	3	10
Ring-billed Gull (<i>Larus delawarensis</i>)	100	0.5-0.8	3
Rock Dove (<i>Columba livia</i>)	50	1.8-2.4	11.5
	200		7.5
	300	1-4	
[Infrasound]	300	1-2	
	0.05		
Budgerigar (<i>Melopsittacus undulatus</i>)	40	2	14
Barn Owl (<i>Tyto alba</i>)			12.5
Eagle Owl (<i>Bubo bubo</i>)	60	1	8
Great Horned Owl (<i>Bubo virginianus</i>)	60		7
Long-eared Owl (<i>Asio otus</i>)	100	6	18
Tawny Owl (<i>Strix aluco</i>)	100	3-6	21
Horned Lark (<i>Eremophila alpestris</i>)	350		7.6
European Robin (<i>Erithacus rubecula</i>)			21
American Crow (<i>Corvus brachyrhynchos</i>)	300	1-2	8
Black-billed Magpie (<i>Pica pica</i>)	100	0.8-1.6	21
Blue Jay (<i>Cyanocitta cristata</i>)			7.8
Red-winged Blackbird (<i>Agelaius phoeniceus</i>)			9.6
Brown-headed Cowbird (<i>Molothrus ater</i>)			9.7
European Starling (<i>Sturnus vulgaris</i>)	700		15
		2000	8.7
House Sparrow (<i>Passer domesticus</i>)	675		11.5
			18
Chaffinch (<i>Fringilla coelebs</i>)	200	3.2	29
Greenfinch (<i>Chloris chloris</i>)			20
Canary (<i>Serinus canaria</i>)	1100		10
	250	2.8	10
Bullfinch (<i>Pyrrhula pyrrhula</i>)	200	3.2	20-25
			21
Field Sparrow (<i>Spizella pusilla</i>)			11
House Finch (<i>Carpodacus mexicanus</i>)			7.2
Red Crossbill (<i>Loxia curvirostra</i>)			20
Snow Bunting (<i>Plectrophenax nivalis</i>)	400		7.2

Dažādu putnu sugu dzirdes parametri [Beason, R.C., 2004. What can birds hear?. *USDA National Wildlife Research Center-Staff Publications*, p.78.]

Var redzēt, ka dažādu putnu sugu augstākās jutības frekvenču diapazoni krasi atšķiras, tomēr ir iespējams izdalīt noteiktu frekvenču joslu 1kHz-4kHz, kurā iekļaujas lielāka daļa no putniem. Jāatzīmē arī viens ļoti svarīgs aspekts- **nepastāv zinātniski pierādītu datu, kas apliecinātu putnu spēju dzirdēt ultraskaņas (>20kHz) diapazonā**, jo augšējā dzirdamības robeža putniem svārstās ap 7-15kHz.

Dažām putnu sugām piemīt spēja dzirdēt infraskaņu (<20Hz), tomēr zemfrekvences signāliem piemīt viena raksturīga īpašība- grūtības identificēt skaņas avotu, kas ir īpaši iezīmīga tieši putniem, ņemot vērā mazu attālumu starp ausīm, kas izslēdz iespēju izmantot lokalizācijas mehānismu, kas darbojās pie augstākām frekvencēm. Šādos gadījumos skaņas avota lokalizēšanai putni lido apkārt objektam, orientējoties pēc Doplera

nobīdēm, lai identificētu virzienu. Dotā metode var noderēt pašiem putniem, kas meklē citus putnus, bet ļauj secināt, ***ka infraskaņas izmantošana neļauj sasniegt primāro mērķi- atbaidīt plēsējputnus no dīķiem.***

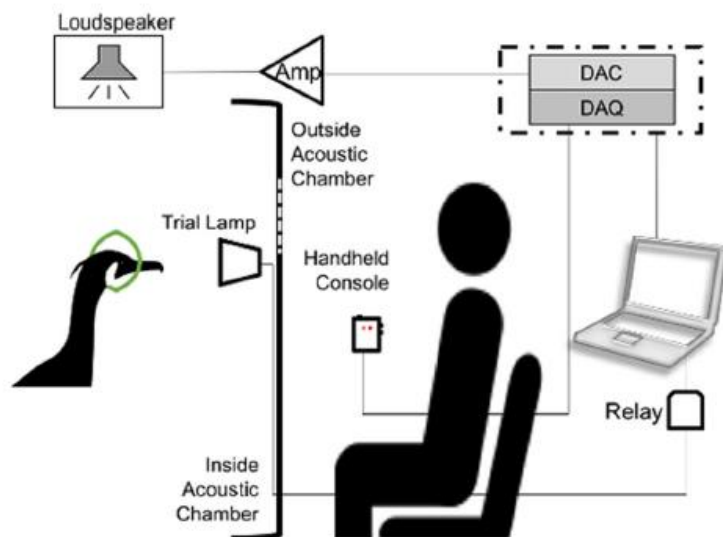
Jūtība pret skaņas intensitāti (skaļumu) ir stipri atkarīga no skanas frekvences. Kopumā putniem piemīt augstāki dzirdamības sliekšņi nekā cilvēkiem, kas tiek noteikts ar vāju signālu pastiprinājumu iekšējā ausī. Tas nozīmē to, ka veicot atbaidīšanai izmantojamo signālu izvēli tas, kas cilvēks dzird noteiktu signālu galīgi nenozīmē, ka to dzird arī putns. Līdz ar to ir jāveic atbaidīšanas signālu skaņas intensitātes mērījumi dažādos attālumos, kas līdz ar informāciju par konkrētu mērķsugu dzirdes sliekšņiem sniegs praktisku informāciju par nepieciešamiem audio pastiprinātāju parametriem un uzstādījumiem.

Tāpat kā cilvēkiem, kas darbojas vidē ar augstiem apkārtējo trokšņu līmeņiem arī putniem šādos apstākļos pastāv divas problēmas: dzirdes sistēmas uztverošo elementu bojājumi, kas saistīti ar pārāk lielu stimulāciju, kā arī signālu atpazīšana uz ārējo trokšņu fona. Abas minētās problēmas noteiktos apstākļos var parādīties vienlaikus-t.i. jūtības samazinājums pieprasa augstāku līmeņu signālu izmantošanu, kas savukārt spēj novest pie vēl lielākiem bojājumiem. Atšķirībā no cilvēkiem, putniem ir paredzēta vismaz daļēja dzirdes orgānu reģenerācija, kas norāda uz spēju atgūt dzirdi. Reģenerācija tiek apturēta, ja putni tiek pakļauti pastāvīgai trokšņa iedarbībai.

Veicot akustisko signālu parametru iemeklēšanu, jāņem vērā arī tas fakts, ka putni izrāda atbilstošās uzvedības izmaiņas, pielāgojoties apkārtējiem trokšņiem - piemēram, palielinot pašu raidāmo signālu intensitāti.

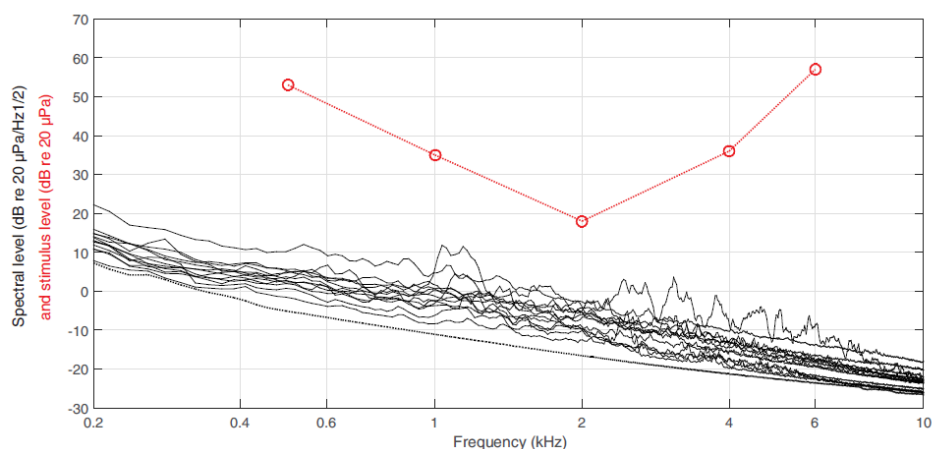
Akustisko signālu nepieciešamās intensitātes novērtēšanai tikai izpētīti zinātniski raksti, kas veltīti svarīgāko plēsējputnu dzirdes īpatnībām. Viens no šiem putniem ir jūras krauklis, kas spēj iznīcināt ap 0.6-1.2 kg/zivis dienā. Vienā no rakstiem [Maxwell, A., Hansen, K.A., Ortiz, S.T., Larsen, O.N., Siebert, U. and Wahlberg, M., 2017. In-air hearing of the great cormorant (*Phalacrocorax carbo*). *Biology open*, pp.bio-023879.] tiek izpētīts jūras kraukļa uztverto signālu frekvenču diapazons, iegūstot datus arī par minēto putnu jūtību pret dažādas frekvences signāliem. Tiek atzīmēts, kas pastāv divi informācijas iegūšanas veidi:

- Izmantojot fizioloģiskas metodes, veicot signālu ierakstīšanu pa tiešo no dzirdes nerva;
- Izmantojot psiho-fizioloģiskus līdzekļus- novērtējot putnu reakciju uz dažādiem signāliem.



32.att. Eksperimentālā iekārta [Maxwell, A., Hansen, K.A., Ortiz, S.T., Larsen, O.N., Siebert, U. and Wahlberg, M., 2017. In-air hearing of the great cormorant (*Phalacrocorax carbo*). *Biology open*, pp.bio-023879]

Mērījumu laikā bija jāņem vērā arī fakts, ka signāli izplatās vidē ar noteikta līmeņa trokšņiem, kuru intensitāte samazinās pieaugot frekvencei. Jūras kraukļa psiho-akustiskā audiogramma ir parādīta 33. att

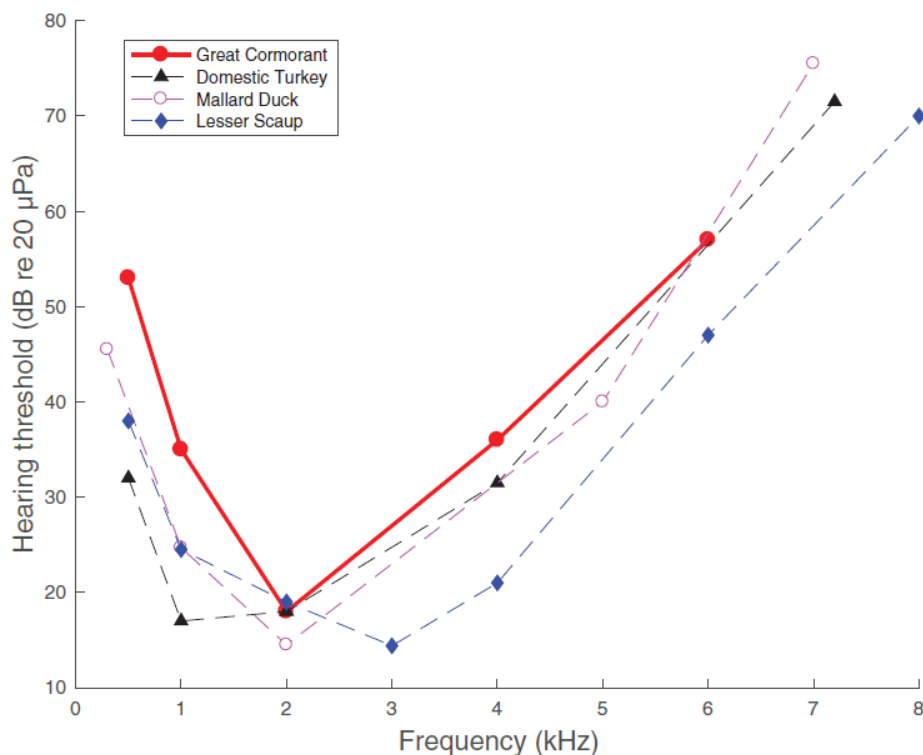


33.att. Jūras kraukļa psiho-akustiskā audiogramma [Maxwell, A., Hansen, K.A., Ortiz, S.T., Larsen, O.N., Siebert, U. and Wahlberg, M., 2017. In-air hearing of the great cormorant (*Phalacrocorax carbo*). *Biology open*, pp.bio-023879]

Veicot iegūto datu analīzi var secināt, ka jūras krauklis virs ūdens vislabāk uztver skaņas 1-4kHz diapazonā, sasniedzot jūtības maksimumu pie 2kHz, kas atbilst datiem arī par citiem nirējputniem. Tāpat jāatzīmē, ka pie

tiem pašiem 2kHz pētāmais signāls spēj pārklāties ar troksni, līdz ar to tam ir jābūt vismaz par 10 dB skaļākam nekā tas ir parādīts audiogrammā.

Jūras kraukļa jūtības diapazons tiek salīdzināts ar citu putnu dzirdes īpatnībām 34.att.



34.att. Lielu putnu dzirdamības sliekšņi

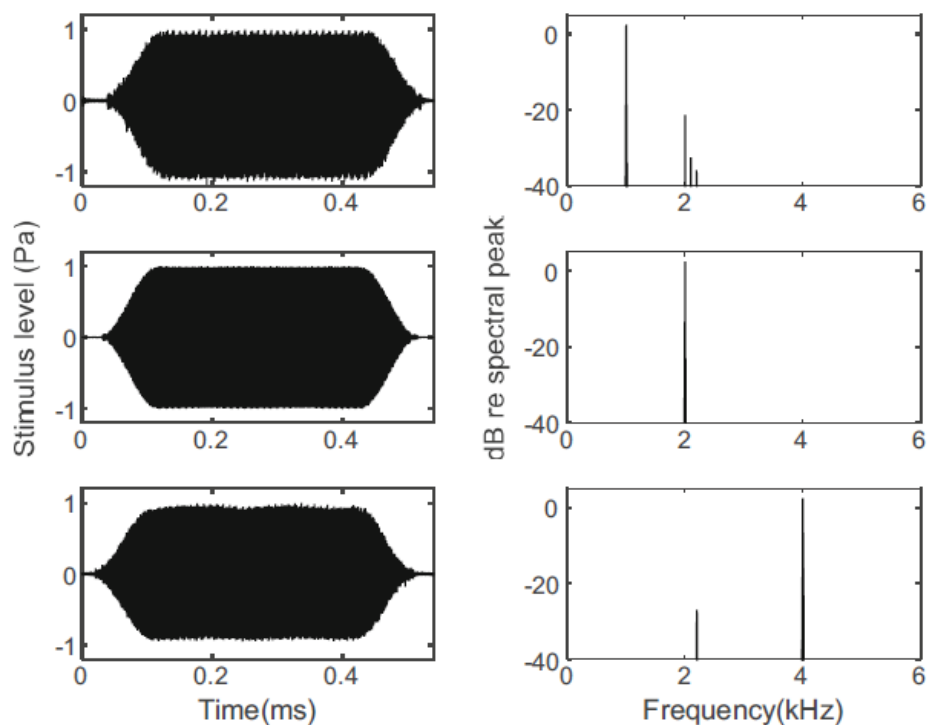
Putnu dzirde zem ūdens

Viena no projekta inovācijām iekļauj sevī ideju izmantot zemūdens akustiskos signālus, lai radītu atbaidošus signālus nērējputniem arī zem ūdens - t.i. vidē, kurā tie medī zivis. Līdz ar to rodas nepieciešamība noskaidrot arī putnu dzirdes īpatnības zem ūdens.

Kopumā pasaulē virs 800 dažādām putnu sugu barojas zem ūdens, kas nosaka manāmas izmaiņas šo putnu dzīvesveidā, fizioloģijā un uzvedībā, kas ir lielā mērā atkarīgi no pielāgošanās ūdens videi. Tiek pierādīts, ka daudziem rāpuļiem ir novērojama organisma adaptācija zemūdens dzirdei. Tas ļauj apgalvot, ka arī putniem, kas savu barību iegūst zem ūdens ir jābūt noteiktiem pielāgošanas mehānismiem. T.k. ūdens ļoti labi vada skaņu, putni varētu efektīvi izmantot zemūdens signālus navigācijai, medībām un arī izvairīšanai no plēsoņiem. Šāda veida signālu izmantošana varētu būt īpaši noderīga putniem, kas ienirstot vēl kādu laiku izseko zivju kustību un dzenas pakāj.

Apskatīsim viena no labākiem zemūdens plēsējputniem- jūras kraukļa- dzirdes īpatnības zem ūdens [Hansen, K.A., Maxwell, A., Siebert, U., Larsen, O.N. and Wahlberg, M., 2017. Great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) can detect auditory cues while diving. *The Science of Nature*, 104(5-6), p.45.].

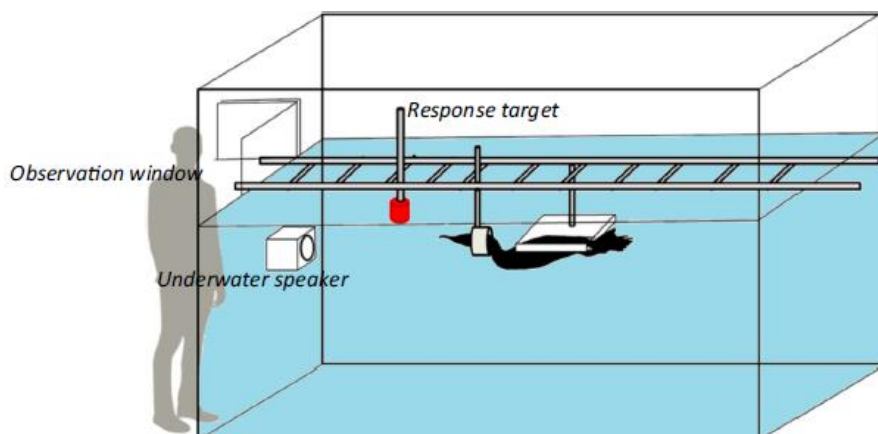
Eksperimenta laikā tika izmantoti 0.5s gari tīrie toņi, kas iekļāva sevī arī 100ms augšanas un krituma apgabalus, lai nepieļautu zemo frekvenču subharmoniku parādīšanos skaļrunī.



35. att. eksperimentu laikā izmantotie signāli un to spektri [Hansen, K.A., Maxwell, A., Siebert, U., Larsen, O.N. and Wahlberg, M., 2017. Great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) can detect auditory cues while diving. *The Science of Nature*, 104(5-6), p.45.]

Signāls tika ģenerēts ar specializētu kalibrētu zemūdens skaļruni un detektēts ar kalibrētu hidrofonu ar precizitāti +/- 1dB.

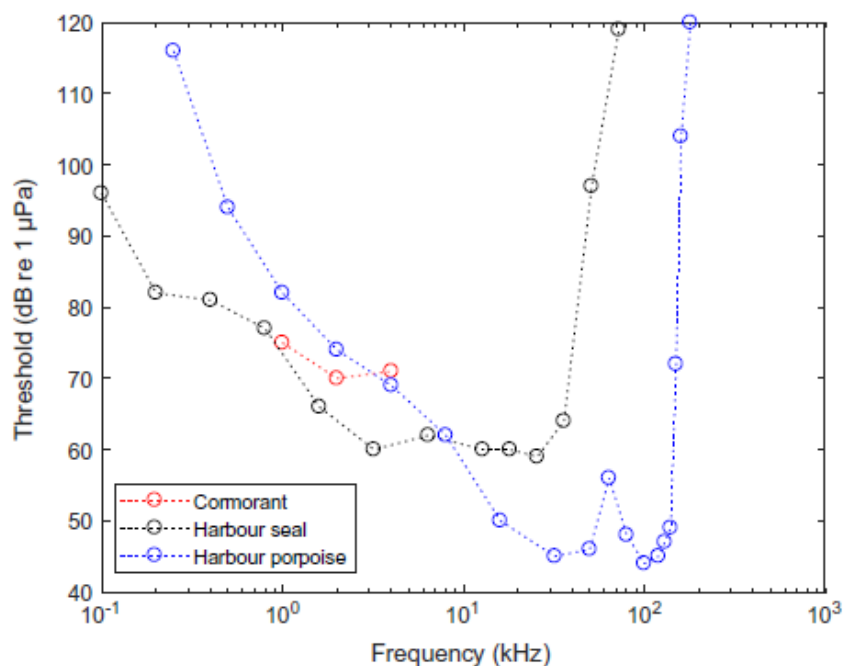
Eksperimenta veikšanas shēma ir parādīta 36. att.

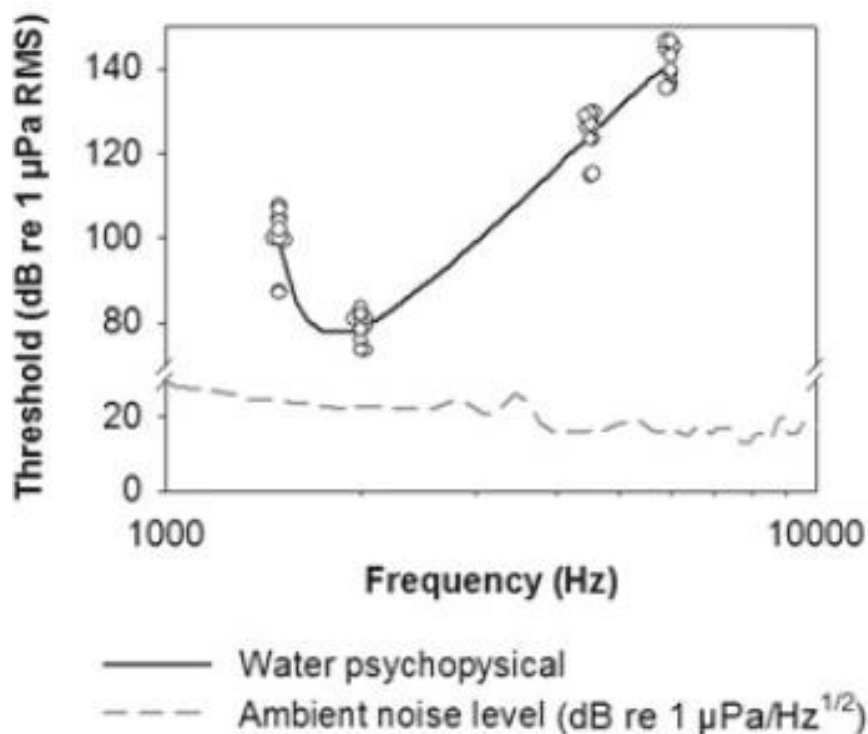


36. att. Zemūdens iekārtas shēma [Hansen, K.A., Maxwell, A., Siebert, U., Larsen, O.N. and Wahlberg, M., 2017. Great cormorants (*Phalacrocorax carbo*) can detect auditory cues while diving. *The Science of Nature*, 104(5-6), p.45.]

Katrā eksperimentu sērijā iedarbības signāla intensitāte tika palielināta ar 6dB soli katrā no eksperimentu veikšanas sērijām. Līdz ar to akustiskā signāla intensitāte putna galvas atrašanās vietā sasniedza 56-110dB re 1 uPa rms.

Rezultāti parāda, ka minētais putns izrāda negaidīti augstu jutību pret zemūdens skaņām. Rezultāti apkopoti 37.att.





37. att. Jūras kraukļu zemūdens dzirdes audiogrammas

Eksperimentos iegūtie dati norāda uz to, ka jūras kraukļu zemūdens dzirde pie zemākām frekvencēm ir salīdzināma ar delfīnu un roņu dzirdi, pārsniedzot šo dzīvnieku dzirdamības sliekšni tikai par 5dB.

Izpētītās funkcionālās dzirdes īpatnības nodrošina, minētiem putniem daudz augstāku medību efektivitāti. Tiek apgalvots, ka jūras kraukļu nirstot veic aktīvu zemūdens zemfrekvenču trokšņu monitoringu, kas ļauj viņiem uztvert zivis pat ļoti duļķainā ūdenī, vai pat mēdīt zivis naktī.

Iepriekš tika uzskatīts, ka šāda tipa zivēdājputni balstās uz izcili labu redzi, kas ļautu viņiem ienirt dziļāk labas redzamības apstākļos, bet ierobežotu medības sliktā apgaismojumā. Vēlāk tika pierādīts, ka jūras kraukļi ir ļoti efektīvi plēsēji pat ļoti duļķainā ūdenī, kā arī spēj iegūt barību pilnīgā tumsā (tika novērota šo putnu ziemošana polārās nakts laikā). Līdz ar to tika secināts, ka putnu uztvertajiem zemūdens akustiskiem signāliem ir noteicošā loma putnu barošanas laikā.

Tika izpētītas arī, ka daudzas zivis spēj ģenerēt skaņas diapazonā līdz 1kHz un 80dB, kas ļauj arī jūras kraukļiem veikt zivju lokalizāciju.

Minētie pētījumi parāda iespēju izmantot zemūdens akustiskos signālus, lai neļautu nirējputniem baroties zem ūdens konkrētā ūdenstilpnē, piespiežot tos meklēt jaunas barošanas vietas.

1.3.2. Zivju mērķsugu dzirdes jūtības diapazoni

Saskaņā ar avota [<https://www.zm.gov.lv/zivsaimnieciba/statiskas-lapas/akvakultura/akvakulturas-produkcijas-razosana?nid=715#jump>] datiem Latvijas dīķos tiek audzētas tabulā minētās zivju sugas.

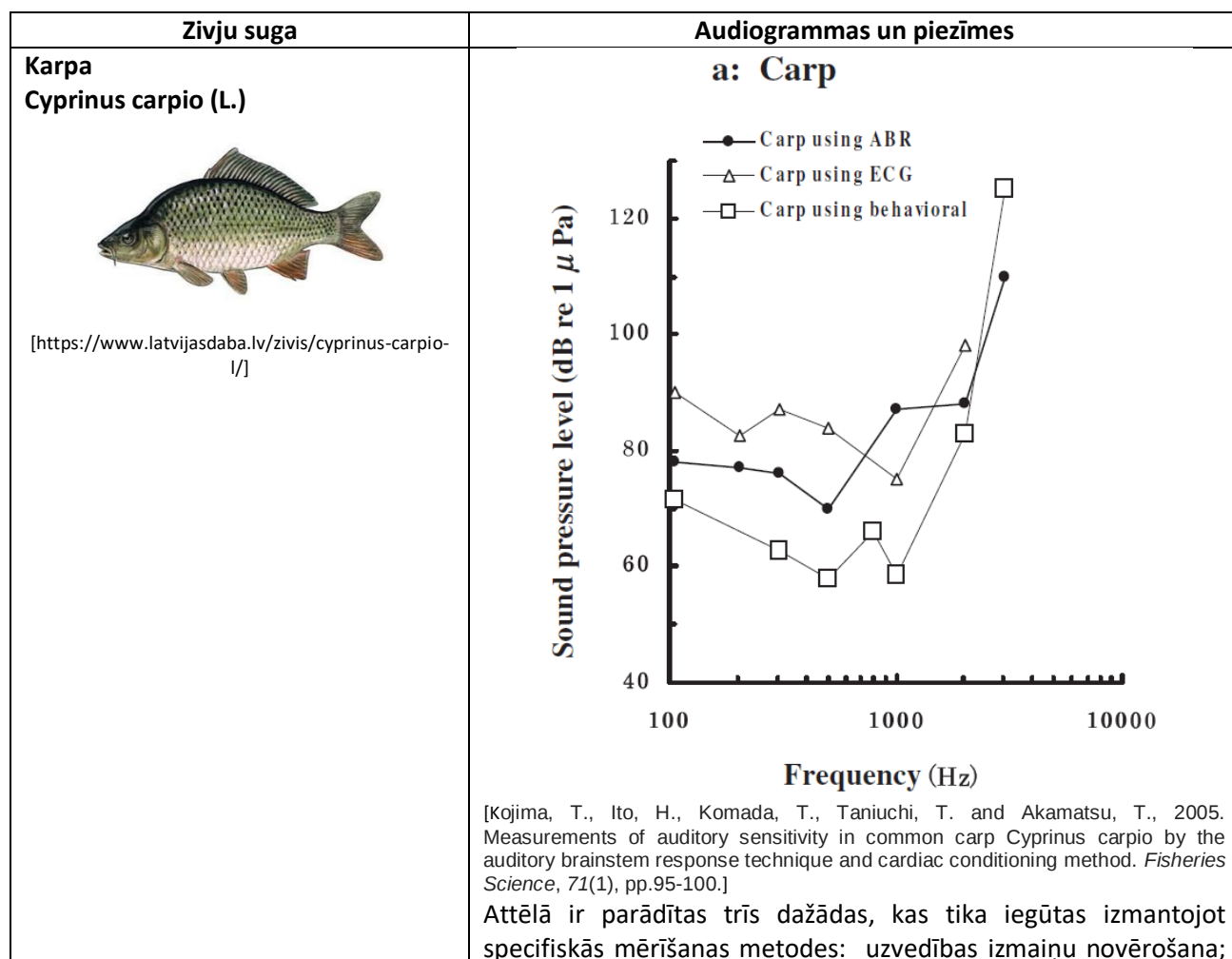
2. tabula

Akvakultūras produkcijas apjoms (realizētās zivis)

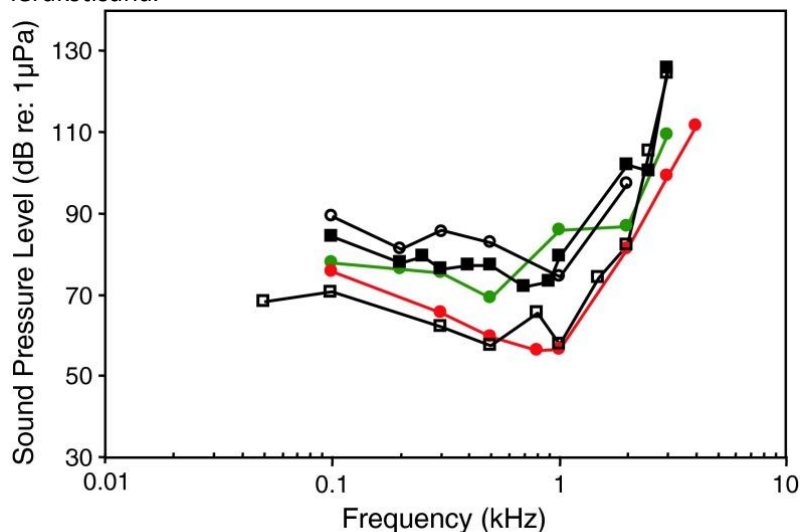
Akvakultūras produkcijas apjoms pa zivju sugām, t	Karpa un karūsa	Līnis	Forele	Līdaka	Store	Sams	Pārējās zivju sugas un vēži	Kopā
2016.gadā realizētas	570,0	8,8	60,5	7,4	45,0	28,9	11,3	731,9
2017.gadā realizētas	614,6	2,9	92,2	9,8	42,3	32,2	13,9	807,9

Avots: CSP

Projekta ietvaros tiek plānots izmantot dažāda tipa zemūdens akustiskos signālu, kas neļautu plēsējputniem baroties tiem pierastajā vidē. Līdz ar to rodas nepieciešamība apzināt arī svarīgāko audzējamo zivju sugu dzirdes īpatnības, lai izslēgtu izmantojamo signālu ietekmi uz zivju audzēšanas efektivitāti.



elektrokardiogrammu mērīšana un smadzeņu signālu ierakstīšana.



—●— AEP – Amoser and Ladich (2005)

—●— AEP – Kojima et al. (2005)

—■— Behavior – Köhler (1973)

—■— Behavior – Popper (1972b)

—●— Behavior – Kojima et al. (2005)

[<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4560088/>]

Dažos pētījumos uzmanība tika veltīta faktam, ka dažas zivju sugas, ieskaitot karpu, spēj pielāgoties apkārtējo trokšņu līmeņiem, kas pazemina to jutību. Skat. Nākamo attēlu.

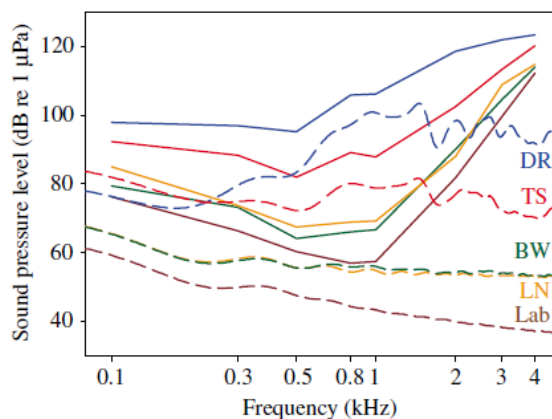
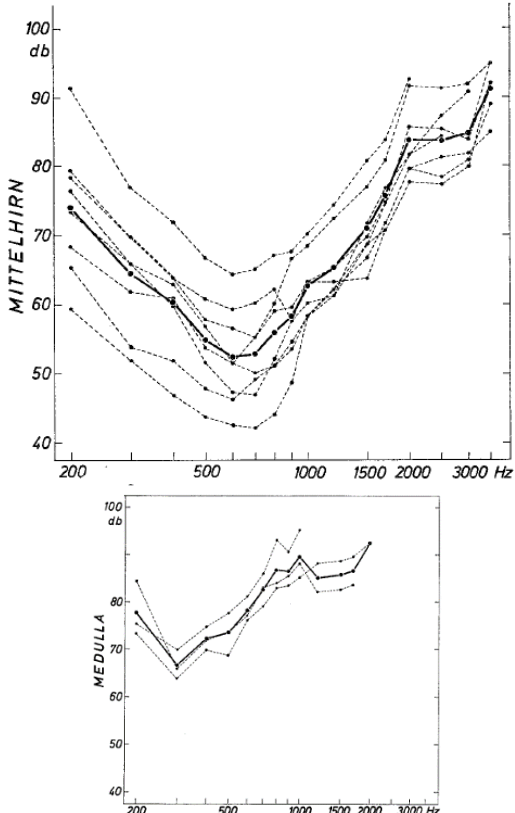


Fig. 2. Mean hearing thresholds of *Cyprinus carpio* (solid lines) under laboratory conditions (baseline) and in the presence of the different ambient noise types. Broken lines show the cepstrum-smoothed sound power spectra of the corresponding noise types (Fig. 1 shows the absolute amplitude spectra). DR, Danube river; TS, Triesting stream; BW, backwater; LN, Lake Neusiedl.

	[Amoser, S. and Ladich, F., 2005. Are hearing sensitivities of freshwater fish adapted to the ambient noise in their habitats?. <i>Journal of Experimental Biology</i>, 208(18), pp.3533-3542.] Pētījumā tiek parādīts, ka karpu dzirdamības sliekšnis frekvenču diapazonā 0.5-1kHz spēj nobīdīties par 9dB stāvošā ūdenī un līdz 49dB plūstošā ūdenī.
Līnis Tinca tinca (L.) (syn. Tinca vulgaris)  [https://www.latvijasdaba.lv/zivis/tinca-tinca-l/]	 [Grözinger, B., 1967. Elektro-physiologische Untersuchungen an der Hörbahn der Schleie (<i>Tinca tinca</i> [L.]). <i>Zeitschrift für vergleichende Physiologie</i>, 57(1), pp.44-76.] Dotajā gadījumā tika novērtēta dažādu smadzeņu apgabalu reakcija uz noteiktu frekvenču signāliem. Līdz ar to nav iespējams viennozīmīgi pateikt kāds ir īstais līņu dzirdamības sliekšnis pie dažādām frekvencēm. Projekta ietvaros ir ieteicams ņemt vērā sliktāko gadījumu un uzskatīt pirmajā grafikā parādītos grafikus ar augstāku jutību par patiesiem.

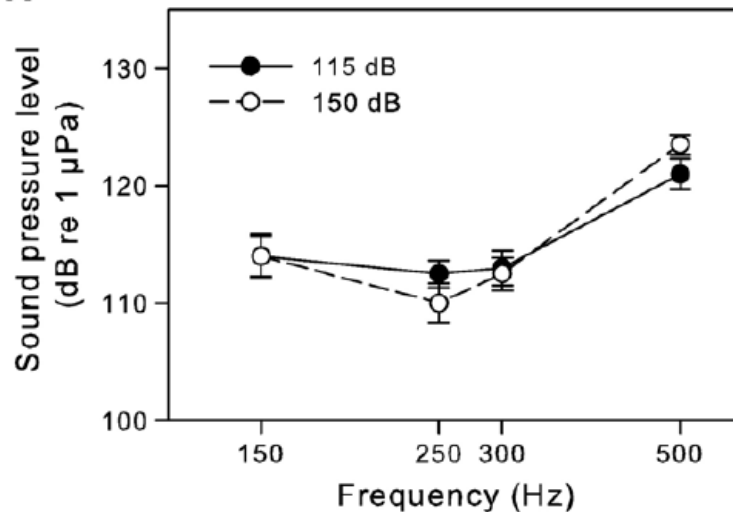
Varavīksnes forele

Oncorhynchus mykiss (Walb.) (syn. Salmo gairdneri Rich., S. irideus, Trutta iridea)



[<https://www.latvijasdaba.lv/zivis/oncorhynchus-mykiss-walb/>]

A



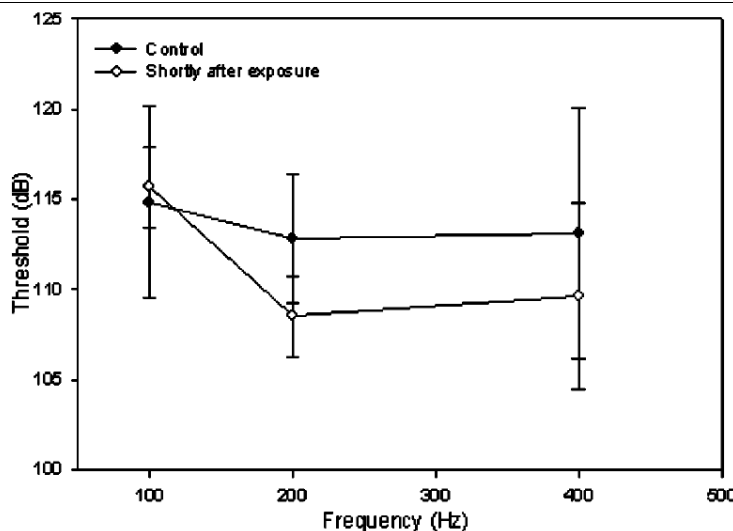
[Wysocki, L.E., Davidson III, J.W., Smith, M.E., Frankel, A.S., Ellison, W.T., Mazik, P.M., Popper, A.N. and Bebak, J., 2007. Effects of aquaculture production noise on hearing, growth, and disease resistance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 272(1-4), pp.687-697.]

Līdaka

Esox lucius L.



[<https://www.latvijasdaba.lv/zivis/esox-lucius-l/>]



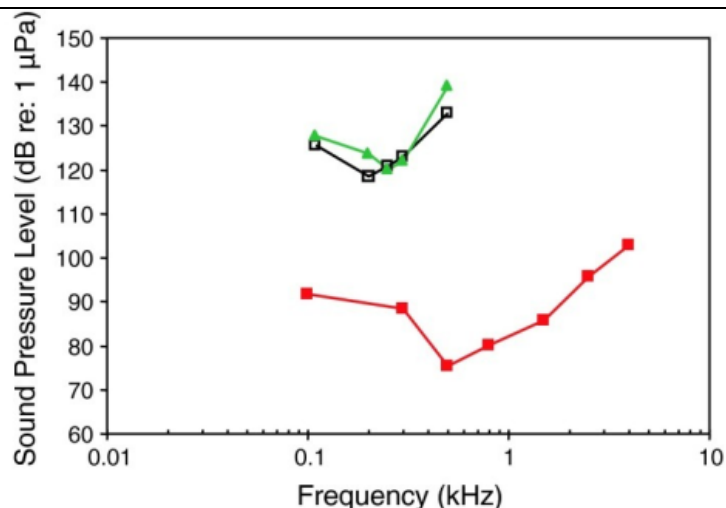
[Popper, A.N., Smith, M.E., Cott, P.A., Hanna, B.W., MacGillivray, A.O., Austin, M.E. and Mann, D.A., 2005. Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(6), pp.3958-3971.]

Store

Acipenser sturio



[<https://www.latvijasdaba.lv/zivis/acipenser-sturio-l/>]



— Lake sturgeon (*Acipenser fluvescens* – Lovell et al. 2005)

— Paddlefish (*Polyodon spathula* – Lovell et al. 2005)

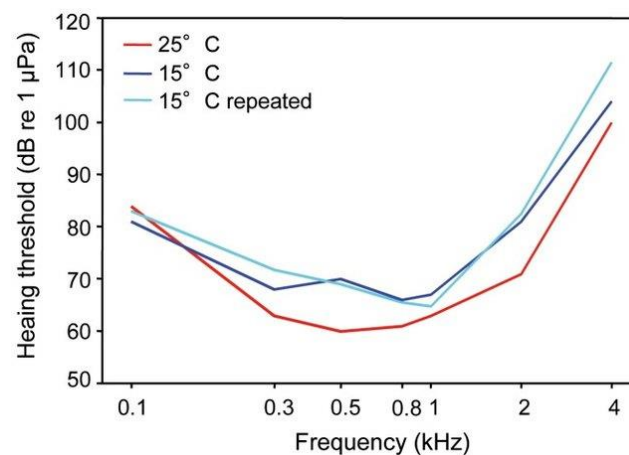
— Black baby whale (*Brienomyrus brachyistius* – Yan and Curtsinger 2000)

[Ladich, F., 2011. Auditory evoked potential audiometry in fish. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(4), pp.2471-2471.]

Sams Silurus glanis (L.)



[<https://www.latvijasdaba.lv/zivis/silurus-glanis-l/>]



[Maiditsch, I.P. and Ladich, F., 2014. Effects of temperature on auditory sensitivity in eurythermal fishes: common carp *Cyprinus carpio* (Family Cyprinidae) versus Wels catfish *Silurus glanis* (family Siluridae). *PLoS one*, 9(9), p.e108583.]

1.3.3. Virsūdens akustiskie signāli

Apkopojot informāciju par putnu dzirdes īpatnībām, paliek skaidrs, ka ultra- un infra-skaņas nav piemērotas putnu atbaidīšanai, kaut arī bez jebkāda zinātniska vai eksperimentāla pamatojuma, tiek izmantotas daudzās tirgū pieejamās iekārtās. Lai ģenerētu signālus, kurus putni spēj uztvert un arī izrādīt noteiktā veida reakciju, jānodrošina atbilstoša signāla intensitāte frekvenču diapazonā 1-4kHz ar maksimumiem, kas sakrīt ar konkrētu mērķsugu jūtības maksimumiem.

Signālus var iedalīt divās principiāli atšķirīgās grupās:

- signāli bez bioloģiskās nozīmes- pastāvīgie vai modulētie.
- signāli ar bioloģisku nozīmi.

Pirmās grupas signāli var būt pastāvīgās vienas frekvences signāls vai arī platjoslas troksnis, kuram nemainās frekvence vai intensitāte. Dotā tipa signāli pie noteiktām frekvencēm var būt kaitinoši, bet neatbaidoši, jo tik pierādīts, ka gan putni gan arī cilvēki ātri pierod pie šī tipa signāliem. Labākus rezultātus var sasniegt pielietojot dažāda tipa modulētos signālus, kuriem mainās frekvence, amplitūda vai abi parametri reizē. Ja šīnī gadījumā parametru izmaiņa ir periodiska, tad arī pie šī tipa signāliem putni ātri pierod. Savukārt, pierašanas izslēgšanai nepieciešams izmantot stāvās signālu izmaiņas frontes, kas nodrošina to, ka signāls atskan "negaidīti" un ar pietiekamu intensitāti. Tāpat arī modulējošo signālu amplitūdai un frekvencei jāmainās haotiski, tāpat kā signālu skanēšanas ilgumam un pauzēm starp tiem.

Otrās grupa signāli tiek raksturoti ar noteiktu bioloģisku nozīmi putniem. Tie var būt signāli, kurus ģenerē tās pašas sugas putni, kas paziņo par noteiktām bīstamām situācijām vai plēsēju tuvošanos. Tomēr vairākos pētījumos tika parādīts, ka putni ar laiku pierod arī pie šiem signāliem, jo tie netiek pamatoti ar kādu reālu fizisku iedarbību un draudu. Cits signālu tips ir plēsēju radīto skaņu atskaņošana. Jāņem vērā, ka cilvēks no putnu viedokļa arī ir plēsējs, kurš apdraud to dzīvību. Līdz ar to atbaidīšanai var izmantot gan plēsējputnu radītās skaņas gan arī skaņas, kas raksturo cilvēka darbību- piemēram, šāvienus.

Projekta gaitā realizētā virsūdens akustiskā sistēma ļaus ģenerēt gan modulētos signālus, gan arī bio-akustisko signālus. Signālu pamatotā izvēle tiks veikta pēc projekta pirmajā pusgadā realizētiem komponentu testiem, kuru rezultāti ir apkopoti U1.3. sadaļā.

1.3.4. Zemūdens akustiskie signāli

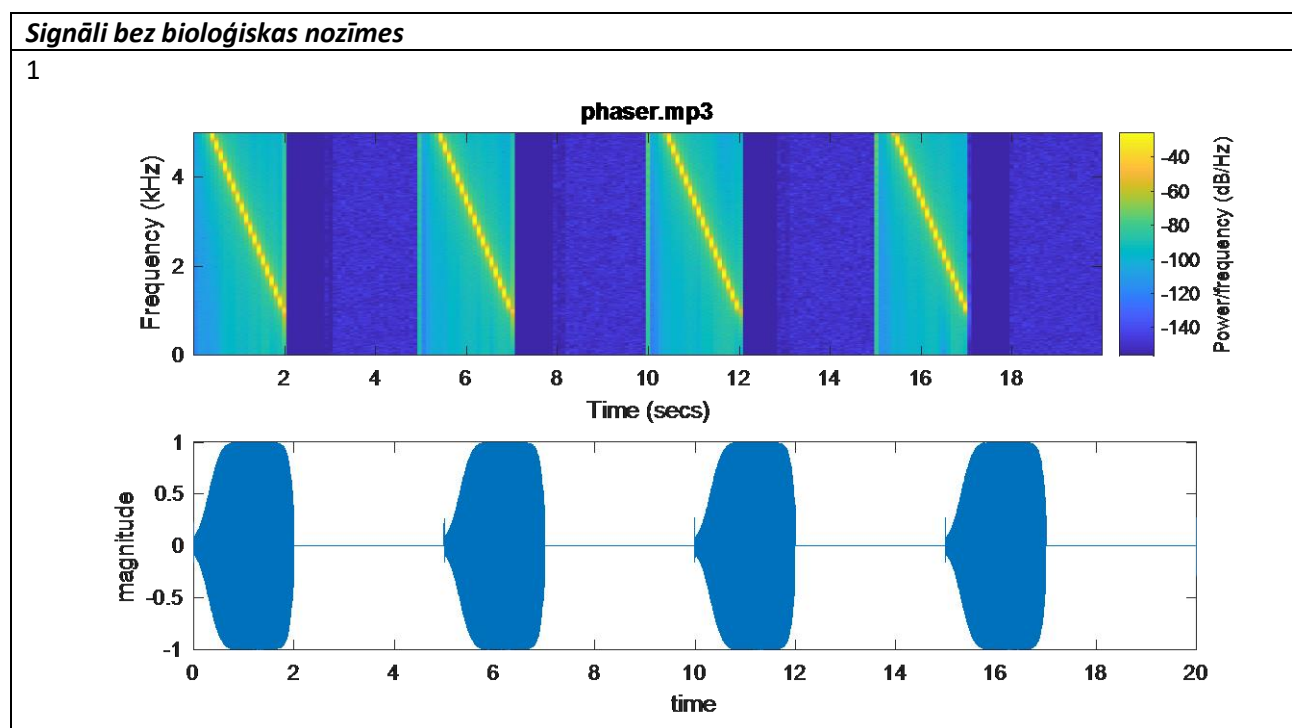
Projekta ietvaros tiek paredzēts ģenerēt arī zemūdens akustiskos signālus putnu dzirdamības frekvenču diapazonā ar mērķi radīt nepatīkamas sajūtas, neļautu putniem koncentrēties uz medībām. Viena no lielākām šāda tipa signālu izmantošanas priekšrocībām ir ka šāda tipa signāli praktiski nebūs dzirdami virs ūdens, līdz ar to netraucēs zivju dīķu tuvumā esošiem iemītniekiem. Ģenerējamie signāli jāsaskaņo arī ar dīķi audzējamo zivju sugu dzirdamības diapazoniem un jūtībām, lai nerādītu zivīm papildus stresu, kas varētu ietekmēt to veselību, uzņemtas barības apjomu un līdz ar to arī audzēšanas efektivitāti.

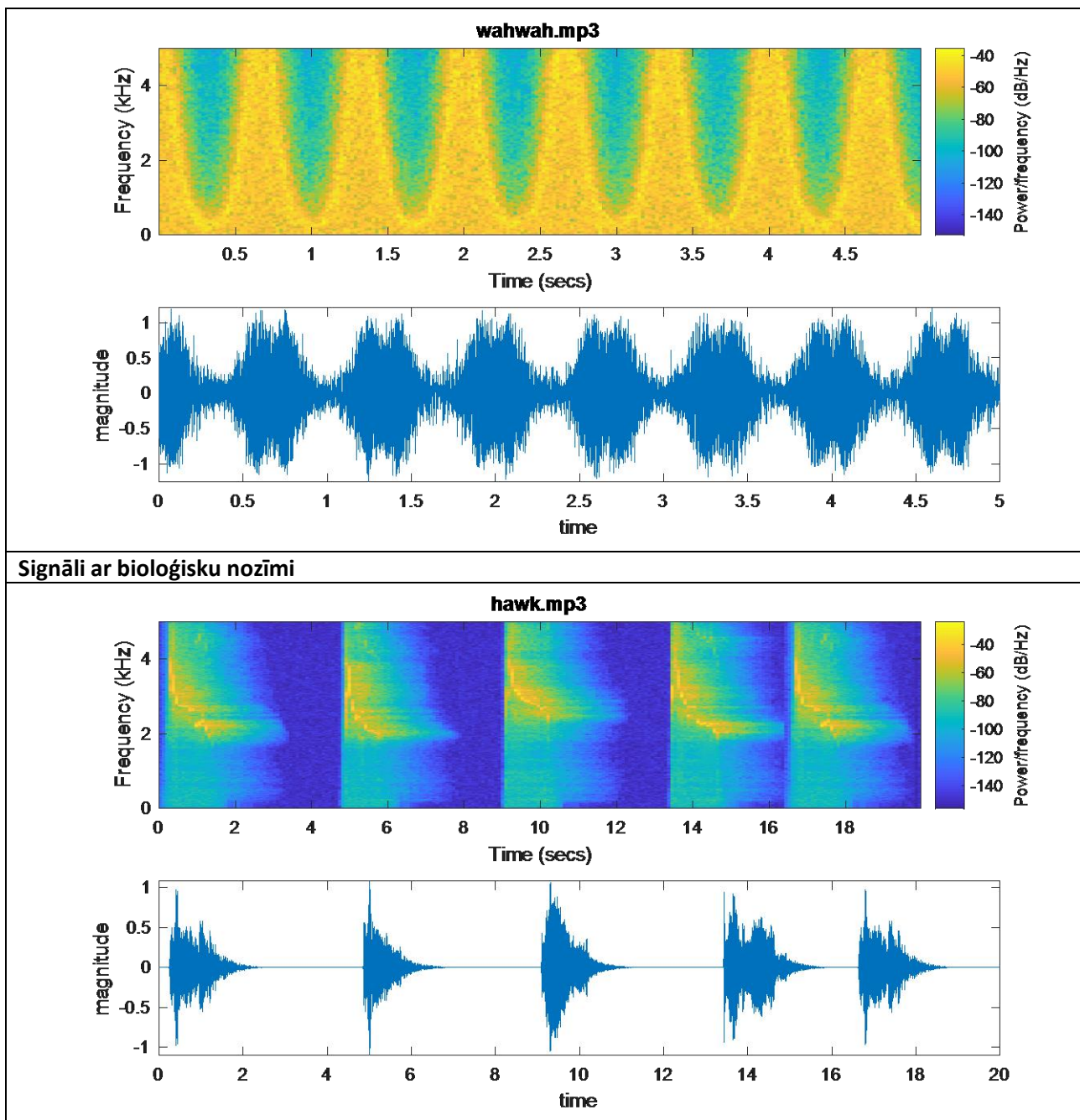
T.k. tika konstatēts, ka lielākai daļai mērksugu putnu nepastāv tiešo ienaidnieku zem ūdens, kas ir sastopami Latvijā, par pamatu tiks ņemti nevis bio-akustiskie, bet gan specifiskās formas modulētie signāli ar lēkājām frekvencēm. Literatūras avotu analīze parāda to, ka daudzi plēsējputni, kas barojas dīķos pavada zem ūdens vidēji ap 20-40 sekundēm- tam arī jāpieskaņo izmantojamo signālu garumi un arī pauzes ilgumus starp sekojošām signālu pakām.

1.3.5. Piedāvāto optimālo akustisko signālu parametri

Tiek piedāvāti 6 signāli ar dažādām īpašībām.

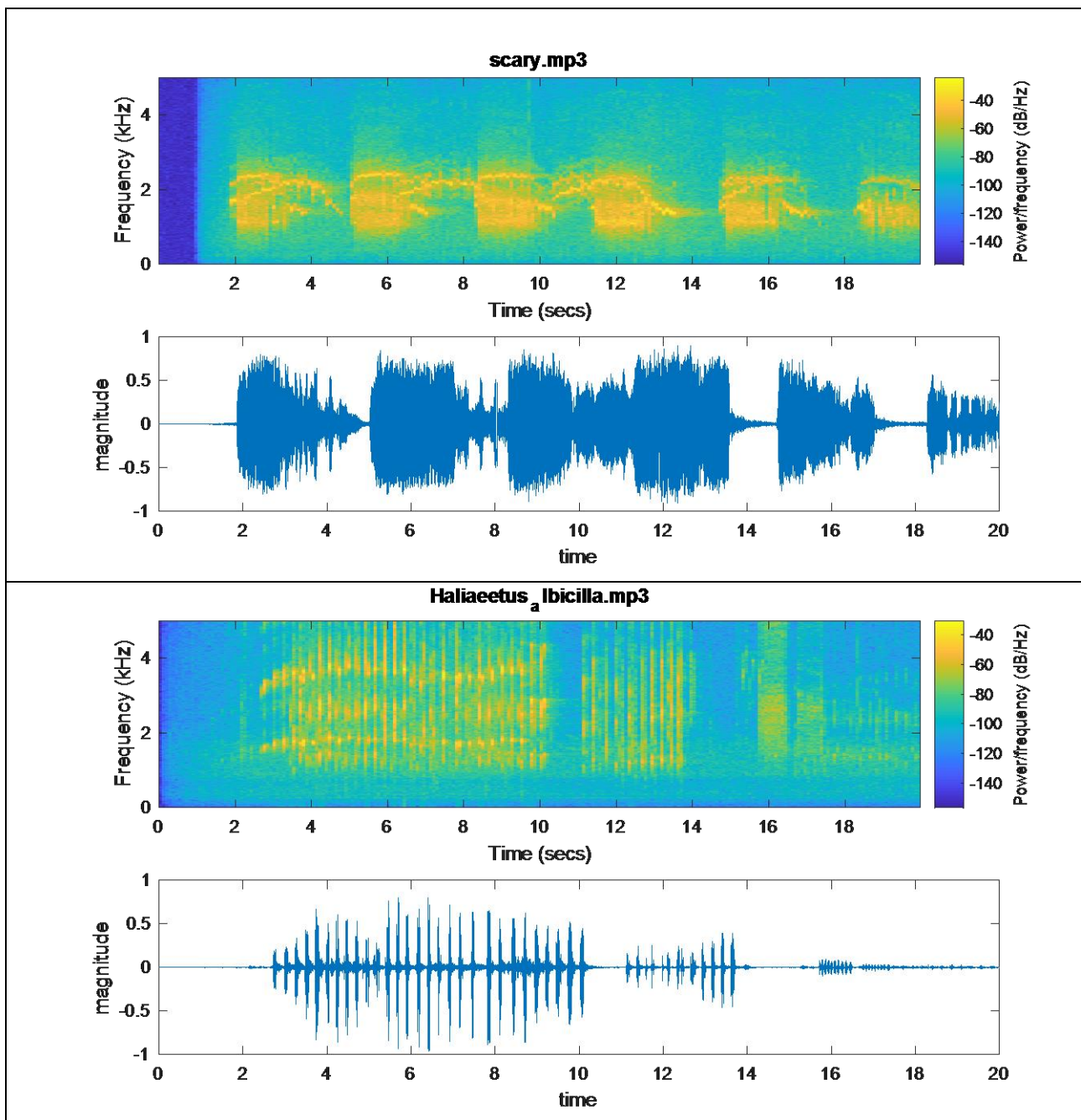
Signāli bez bioloģiskas nozīmes





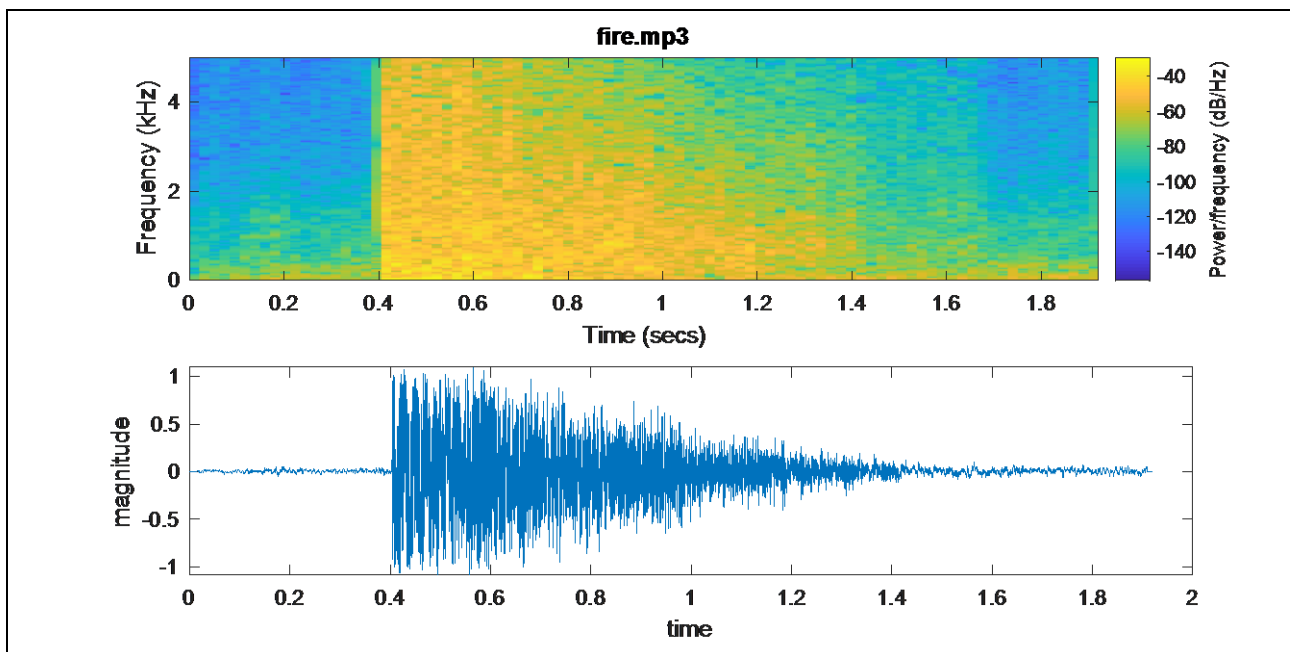
Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedijamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001



Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedījamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

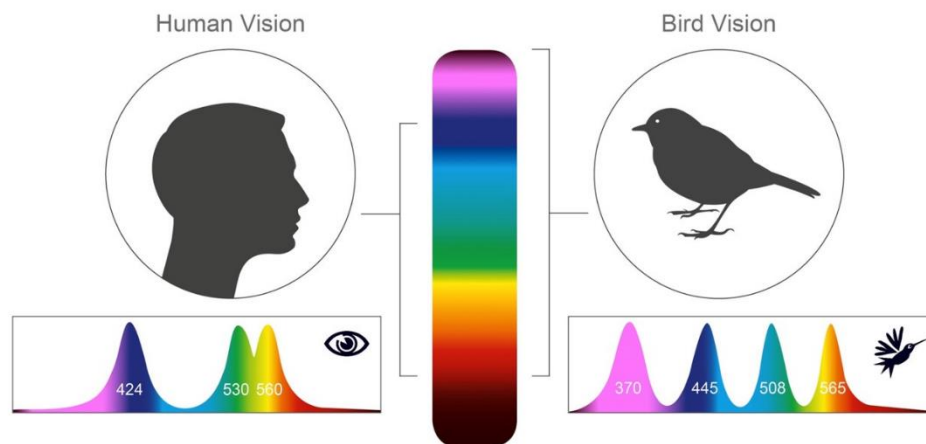


1.4. Efektīvo optisko signālu izpēte

Redze ir viens no svarīgākajiem instrumentiem, ko putni izmanto orientēšanai, medībām, ienaidnieku un bīstamu situāciju laicīgai identificēšanai utt. Pirms dažām dekādēm tika piedāvāts izmantot dažāda tipa gaismas avotus- gan izkliedētus, gan arī koherentus (lāzerus), lai atbaidītu putnus no dažādiem kritiskiem objektiem- piemēram, lidmašīnām, lidlaukiem utt. Tomēr līdzšinējo eksperimentu rezultāti bieži vien krasi atšķiras, bieži vien sniedzot pretēju informāciju par dažādu gaismas avotu iedarbības efektivitāti uz putniem. Tas ir izskaidrojams gan ar atšķirīgiem eksperimentu realizācijas apstākļiem, putnu sugām, stimuliem un daudziem citiem faktoriem. Līdz ar to nav iespējams viennozīmīgi apgalvot, ka noteiktie optiskie signāli spēj atbaidīt putnus un izslēgt to pierašanu. Tomēr, lai zinātniski nopamatotu projektā izmantojamo optisko signālu parametru izvēli, nepieciešams iepazīties ar mērķsugu putnu redzes īpatnībām, piemeklējot optimālus risinājumus.

1.4.1. Putnu redzes īpatnības un jūtības diapazoni

Kopumā putni tiek uzskatīti par tetrahromātiskām būtnēm, kas nozīmē to, ka ar redzes palīdzību tie uztver četras pamata krāsas ultravioletu (UV), zilu, zaļu un sarkanu. Tāpat ar mazāku jutību putni uztver minēto blakusesošo krāsu trīs kombinācijas: UV-zils, zils-zaļš un zaļš-sarkans.



[<http://photographyoftheinvisibleworld.blogspot.com/2017/09/how-to-simulate-what-birds-may-see.html>]

Viena no lielākām atšķirībām starp cilvēku un putnu redzes diapazoniem slēpjas tieši putnu spējā redzēt UV gaismu. Tika izteiktas hipotēzes, ka spēja redzēt UV gaismu palīdz putniem orientēšanā, barošana laikā, iegūstot noteikta veida signālus no apkārtējās vides.

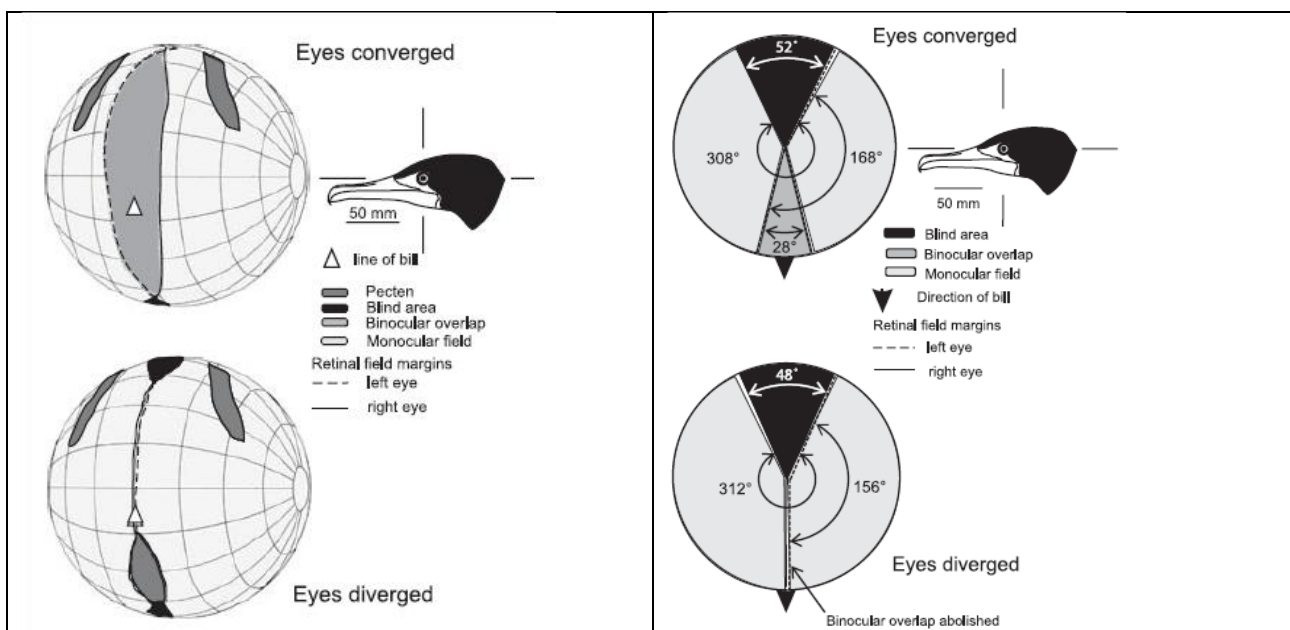
Viens no svarīgākajiem telpiskās izšķirtspējas rādītājiem ir asums. Tas norāda uz iespēju identificēt objektu, ja stimulējošā signāla kontrasts ir augsts. Parasti šī parametra noteikšanai izmanto augsta kontrasta vienmērīgi izvietotas melnās un baltās līnijas. Tātad asums šinī gadījumā norāda uz to cik lielam ir jābūt minimāla attālumam starp līnijām, lai tās varētu atšķirt. Protams testēšana laikā izmantotā augsta kontrasta objekta

ekvivalenti ir reti sastopami dabā, tomēr tas ir labs paņēmieni kā novērtēt redzes asumu, salīdzinot ar noteiktu etalonu. Tāpat tas rada iespēju izpētīt asuma izmaiņas mainīgā apgaismojuma apstākļos.

Tāpat jāatzīmē, ka pastāv sakarība starp putnu telpisko izšķirtspēju un to spēju uztvert UV gaismu. Precizitāte ar kādu gaisma var tikt fokusēta acs optiskajā sistēmā ir apgriezti proporcionāla viļņa garumam. Tas nozīmē, ka ir grūtāk nofokusēt gaismu ar īsākiem viļņu garumiem nekā spektra dzeltenās vai zaļās komponentes. Minētais fakts ļauj pamatoti apgalvot, ka acis ar augstāku izšķirtspēju nespēj uztvert UV spektra komponentes, savukārt putniem, kuriem UV redze tika konstatēta tika novērotas mazās asuma vērtības.

Apskatot putnu redzes īpatnības par piemēru tiek pieņemts jūras krauklis (tālāk tekstā- JK) kas rada vislielākos zudumus zivju audzēšanas saimniecībām, kā arī tiek atzīts par vienu no efektīvākiem plēsējputniem. Tika novērots, ka JK spēj mēdīt zivis duļķainos ūdeņos, kā arī tumšajās naktīs- līdz ar to rodas virkne jautājumu par šo putnu redzes īpatnībām.

Informācija par JK redzes laukiem ir apkopota 38.att.



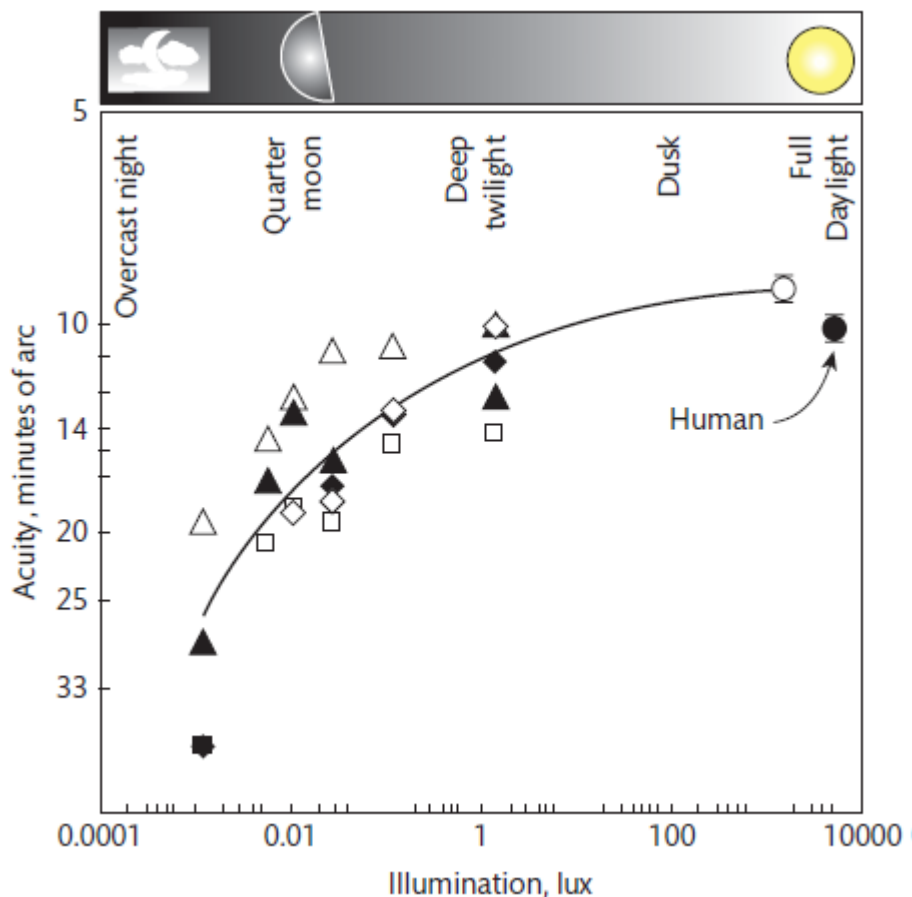
38.att. Jūras kraukļa redzes lauki [White, C.R., Day, N., Butler, P.J. and Martin, G.R., 2007. Vision and foraging in cormorants: more like herons than hawks?. *PLoS One*, 2(7), p.e639.]

JK binokulārās redzes lauks tiepjas 145° vertikāli un par 28° horizontāli.

Monokulāro redzi raksturo 168° (konverģētā stāvoklī) un 156° (diverģētā stāvoklī).

JK barošanās notiek nelielā dziļumā un vidējais ieniršanas laiks ir ap 30-40 sekundēm. Tipiski īpatņi iegūst barību individuāli, tomēr tika novēroti gadījumi, kad tie spēj apvienoties grupās, lai piespiestu zivis pārvietoties tuvāk ūdens virsmai.

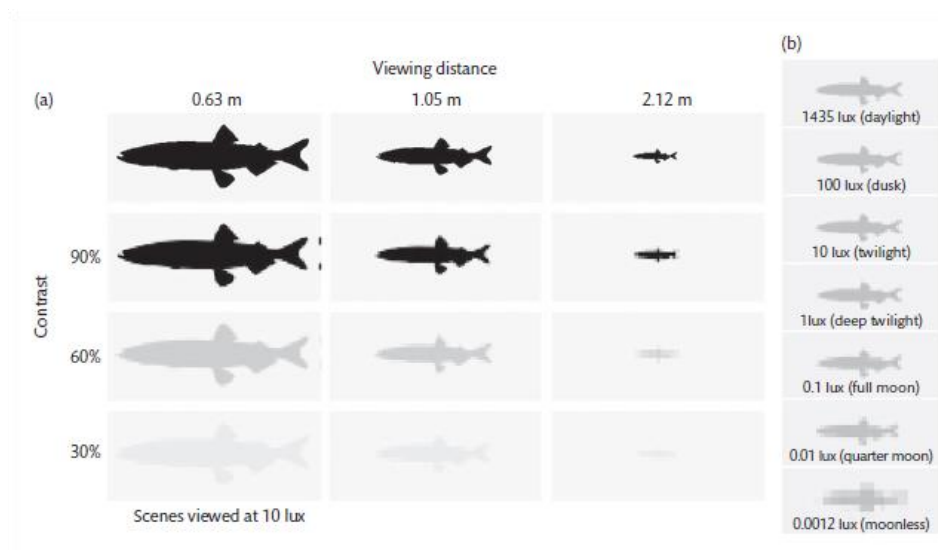
Virkne pētījumu parāda, ka šo putnu redzes asums ir negaidīti zems- skat. 39.att.



39. att. Jūras kraukļu zemūdens redzes asums pie dažāda apgaismojuma līmeņiem [[White, C.R., Day, N., Butler, P.J. and Martin, G.R., 2007. Vision and foraging in cormorants: more like herons than hawks?. *PLoS One*, 2(7), p.e639.]

Var redzēt, ka pat labā apgaismojuma apstākļos JK neuzrāda asumu labāku par 10 min, kas kritās samazinoties apgaismojuma intensitātei.

Balstoties uz iegūtajiem asuma datiem un arī informāciju par to, kā izšķirtspēju ietekmē iedarbības kontrasts, izdevās izveidot JK redzes modeli, balstoties uz kuru var novērtēt to, ko redz minētais putns zem ūdens.



40. att. Jūras kraukļa redze zem ūdens

[White, C.R., Day, N., Butler, P.J. and Martin, G.R., 2007. Vision and foraging in cormorants: more like herons than hawks?. *PLoS One*, 2(7), p.e639.]

Modelēšanas dati ļauj apgalvot, ka JK spēj saredzēt zivis tikai pavisam nelielos attālumos <1m. Savukārt ārpus norādīta uztveres diapazona zivis attēls kļūst aizvien vairāk izplūdis. Tādejādi tiek secināts, ka barības meklējumos JK neatšķir zivis, bet reaģē uz kustīgiem objektiem, saskatot tos tikai izvelkot virs ūdens. JK redzes leņķi, atšķirībā no daudzām citā zivīm, ļauj saskatīt barību, kas tiek turēta mutē un identificēt to pirms norīšanas.

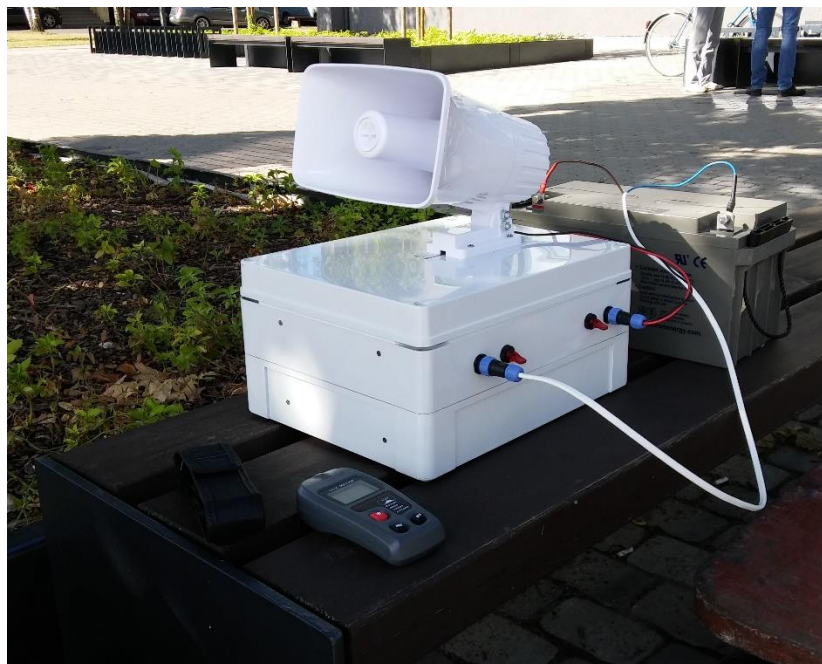
Tāpat minētie dati nopamato pieņēmumu, ka lielu lomu barošanas procesā tomēr spēlē dažāda tipa akustisku signālu uztveršana zem ūdens.

Projekta ietvaros tiek plānots veikt divu tipa lāzeru testēšanu ar atbilstošiem viļņu garumiem 532nm un 642nm. Pirmo komponentu testēšanas laikā bija nepieciešams novērtēt viļņa garuma un lāzera jaudas ietekmi uz putnu atbaidīšanas efektivitāti.

2.1. AP1.3.1 Komponentu testēšanas plāns

Ņemot vērā, ka jaudas pastiprinātājs MRX-T15 gaidīšanas režīmā patērē ap 0,5A, tika ieviesta tas aktivizēšana iespēja tieši skanas ģenerēšanas laika intervālā (tranzistors Q1).

DP1 HAOS laboratorijas prototipa izstrāde 1.-6.mēn.



42. att. Akustisko komponentu testēšanas iekārta

Tāpat eksperimentu realizācijā tika izmatoti triju tipu lāzeri: zaļais 5mW, zaļais ar paplašinātāju 100mW, sarkanais 5mW. Lai novērtētu dažāda tipa optisko signālu izmantošanas iespējas mainīgā apgaismojuma apstākļos, tika izmantots arī luksometrs.

```
/*
*****
*                               Skaņu ģenerēšanas programma
*                               Rīgas Tehniskā universitāte
*                               Juris Grizāns, 2018
*****
*/
const byte A_Pin = A3;
const byte B_Pin = A4;
const byte C_Pin = A5;
const byte D_Pin = A2;

const byte Amplifier_Pin = 3;

int Interval_ms = 30; // Aizkavējums kontaktu vibrāciju filtrēšanai

int Flag_A = LOW; // Pirmā melodija (LOW - poga "A" NAV nospiesta; HIGH - poga
"A" IR nospiesta)
```

```
int Flag_B = LOW; // Otrā melodija (LOW - poga "A" NAV nospiesta; HIGH - poga
"A" IR nospiesta)
int Flag_C = LOW; // Trešā melodija (LOW - poga "A" NAV nospiesta; HIGH - poga
"A" IR nospiesta)
int Flag_D= LOW; // Ceturtā melodija (LOW - poga "A" NAV nospiesta; HIGH - poga
"A" IR nospiesta)
unsigned long Button_Timer_Start; // Pogas sekundāras nospiešanas gaidīšanas
laika intervāla sākumvērtība
unsigned long Button_Timer_Stop; // Pogas sekundāras nospiešanas gaidīšanas
tekoša laika vērtība
const unsigned long Button_Timer_Interval = 3000; // Pogas sekundāras
nospiešanas gaidīšanas laika intervāls, msec

char Cycle = ' '; // Darba cikls
int Skalrunis = LOW; //LOW - nestrādā; HIGH - strādā

unsigned long Player_Interval = 255000;
unsigned long Player_Time = 0;

#include <SoftwareSerial.h>
#include <DFPlayer_Mini_Mp3.h>

SoftwareSerial MP3 (7, 8);

void setup()
{
    pinMode(A_Pin, INPUT);
    pinMode(B_Pin, INPUT);
    pinMode(C_Pin, INPUT);
    pinMode(D_Pin, INPUT);

    pinMode(Amplifier_Pin, OUTPUT);
    digitalWrite (Amplifier_Pin, HIGH);

    Serial.begin(9600);

    MP3.begin(9600);
    mp3_set_serial(MP3); // Ieslēgt datu pārraidi ar DFPlayer mini mp3
    delay(1);
    mp3_set_volume(15); // Skaļums no 0 līdz 3
    mp3_set_EQ(0); // Ekvalaizeris no 0 līdz 5

}

void loop()
{
    //
    *****
    // 433MHz moduļa apstrāde
    //
    *****

```

```

if (digitalRead (A_Pin) == HIGH)
{
    delay (Interval_ms);
    Flag_A = HIGH;
    Flag_B = LOW;
    Flag_C = LOW;
    Flag_D = LOW;
}
else // Poga NAV nospiesta
{
    if (Flag_A == HIGH) // Bija nospiesta, bet tagad jau atlaista
    {
        Button_Timer_Start = millis();
        Flag_A = LOW;

        Button_Timer_Stop = millis();
        while (Button_Timer_Stop - Button_Timer_Start <
Button_Timer_Interval && Cycle != 'A')
        {
            if (digitalRead (A_Pin) == HIGH)
            {
                delay (Interval_ms);
                Flag_A = HIGH;
            }
            else
            {
                if (Flag_A == HIGH)
                {
                    Flag_A = LOW;
                    Cycle = 'A'; // Cikla "A" starts
                }
            }
            Button_Timer_Stop = millis();
        }
    }
}

if (digitalRead (B_Pin) == HIGH)
{
    delay (Interval_ms);
    Flag_A = LOW;
    Flag_B = HIGH;
    Flag_C = LOW;
    Flag_D = LOW;
}
else // Poga NAV nospiesta
{
    if (Flag_B == HIGH) //Bija nospiesta, bet tagad jau atlaista
    {
        Button_Timer_Start = millis();
        Flag_B = LOW;

        Button_Timer_Stop = millis();
    }
}

```

```

        while (Button_Timer_Stop - Button_Timer_Start <
Button_Timer_Interval && Cycle != 'B')
        {
            if (digitalRead (B_Pin) == HIGH)
            {
                delay (Interval_ms);
                Flag_B = HIGH;
            }
            else
            {
                if (Flag_B == HIGH)
                {
                    Flag_B = LOW;
                    Cycle = 'B'; // Cikla "B" starts
                }
            }
            Button_Timer_Stop = millis();
        }
    }

    if (digitalRead (C_Pin) == HIGH)
    {
        delay (Interval_ms);
        Flag_A = LOW;
        Flag_B = LOW;
        Flag_C = HIGH;
        Flag_D = LOW;
    }
    else // Poga NAV nospiesta
    {
        if (Flag_C == HIGH) // Bija nospiesta, bet tagad jau atlaista
        {
            Button_Timer_Start = millis();
            Flag_C = LOW;

            Button_Timer_Stop = millis();
            while (Button_Timer_Stop - Button_Timer_Start <
Button_Timer_Interval && Cycle != 'C')
            {
                if (digitalRead (C_Pin) == HIGH)
                {
                    delay (Interval_ms);
                    Flag_C = HIGH;
                }
                else
                {
                    if (Flag_C == HIGH)
                    {
                        Flag_C = LOW;
                        Cycle = 'C';
                    }
                }
            }
        }
    }

```

```

        Button_Timer_Stop = millis();
    }
}

if (digitalRead (D_Pin) == HIGH)
{
    delay (Interval_ms);
    Flag_A = LOW;
    Flag_B = LOW;
    Flag_C = LOW;
    Flag_D = HIGH;
}
else // Poga NAV nospiesta
{
    if (Flag_D == HIGH) // Bija nospiesta, bet tagad jau atlaista
    {
        Button_Timer_Start = millis();
        Flag_D = LOW;

        Button_Timer_Stop = millis();
        while (Button_Timer_Stop - Button_Timer_Start <
Button_Timer_Interval && Cycle != 'D')
        {
            if (digitalRead (D_Pin) == HIGH)
            {
                delay (Interval_ms);
                Flag_D = HIGH;
            }
            else
            {
                if (Flag_D == HIGH)
                {
                    Flag_D = LOW;

                    Cycle = 'D'; // Cikla "B" starts
                }
            }
            Button_Timer_Stop = millis();
        }
    }
}

// -----
// Cikla apstrāde
// -----
switch (Cycle)
{
    case 'A':
        if (Skalrunis == LOW)
        {

```

```

digitalWrite (Amplifier_Pin, LOW);
delay (4000);

mp3_play(1); // Atskaņo failu mp3/0001.mp3
Serial.println("Atskaņo failu mp3/0001.mp3");
Cycle = 'a';
Skalrunis = HIGH;
}
else
{
    if(Skalrunis == HIGH)
    {
        mp3_stop();
        Serial.println("Stop");
        Cycle = ' ';
        Skalrunis = LOW;
        digitalWrite (Amplifier_Pin, HIGH);
    }
}
break;

case 'B':
    if(Skalrunis == LOW)
    {
        digitalWrite (Amplifier_Pin, LOW);
        delay (4000);

        mp3_play(2); //Atskaņo failu mp3/0002.mp3
        Serial.println("Atskaņo failu mp3/0002.mp3");
        Cycle = 'b';
        Skalrunis = HIGH;
    }
    else
    {
        if(Skalrunis == HIGH)
        {
            mp3_stop();
            Serial.println("Stop");
            Cycle = ' ';
            Skalrunis = LOW;
            digitalWrite (Amplifier_Pin, HIGH);
        }
    }
}
break;

case 'C':
    if(Skalrunis == LOW)
    {
        digitalWrite (Amplifier_Pin, LOW);
        delay (4000);

        mp3_play(3); // Atskaņo failu mp3/0003.mp3
        Serial.println("Atskaņo failu mp3/0003.mp3");
    }

```

```

        Player_Time = millis();
        Cycle = 'c';
        Skalrunis = HIGH;
    }
    else
    {
        if(Skalrunis == HIGH)
        {
            mp3_stop();
            Serial.println("Stop");
            Cycle = ' ';
            Skalrunis = LOW;
            digitalWrite (Amplifier_Pin, HIGH);
        }
    }
    break;

    case 'D':
        if(Skalrunis == LOW)
        {
            digitalWrite (Amplifier_Pin, LOW);
            delay (4000);

            mp3_play(4); // Atskaņo failu mp3/0004.mp3
            Serial.println("Atskaņo failu mp3/0004.mp3");
            Player_Time = millis();
            Cycle = 'd';
            Skalrunis = HIGH;
        }
        else
        {
            if(Skalrunis == HIGH)
            {
                mp3_stop();
                Serial.println("Stop");
                Cycle = ' ';
                Skalrunis = LOW;
                digitalWrite (Amplifier_Pin, HIGH);
            }
        }
    }
    break;

}

switch (Cycle)
{
    case 'a':
        if (Player_Time + Player_Interval < millis())
        {
            Serial.println(" 'a' cikla atkartojums ");
            mp3_play(1);
        }
    }
}

```

```

        Player_Time = millis();
    }
    break;

    case 'b':
        if (Player_Time + Player_Interval < millis())
        {
            Serial.println(" 'b' cikla atkartojums ");
            mp3_play(2);
            Player_Time = millis();
        }
        break;

    case 'c':
        if (Player_Time + Player_Interval < millis())
        {
            Serial.println(" 'c' cikla atkartojums ");
            mp3_play(3);
            Player_Time = millis();
        }
        break;

    case 'd':
        if (Player_Time + Player_Interval < millis())
        {
            Serial.println(" 'd' cikla atkartojums ");
            mp3_play(4);
            Player_Time = millis();
        }
        break;
    }
}

```

2.2. AP1.3.2 Akustisko un optisko komponentu testēšanas rezultātu atskaite

Šajā periodā tika veikta atsevišķu HAOS sistēmas komponentu funkcionalitātes pārbaude divās zivju audzētavās (ZI BIOR zivju audzētava “Tome” un tās filiāles “Dole” dīķos) un Daugavas upē (zem Rīgas HES). Tika izstrādāts akustisko un optisko komponentu testēšanas plāns, kā arī veikta šo komponentu dažādu variāciju ietekmes pārbaude uz dažādiem zivēdājputniem (Baltais un Pelēkais gārnis, Kīris, Jūras krauklis, Gaigalas, Laucis, Meža pīle) un zivīm. Plāna sagatavošanas procesā tika veikta konsultācija ar zivju audzētājiem praktiķiem (biedrības “Latvijas zivju audzētāju asociācijas” biedru zivju audzētavu īpašniekiem un zivkopjiem) par pieredzi un apstākļiem kādos nākas saskarties ar zivēdājputniem dīķsaimniecībā. Tika apkopota literatūrā pieejamā informācija par zivēdājputnu bioloģiskajām īpašībām un uzvedību, kā arī apkopoti dati par to atbaidīšanas veidiem zivju audzēšanas dīķos, metožu un ierīču efektivitāti īpaši pievēršot uzmanību audio un vizuālo atbaidītājiem. Testēšanas plāns tika sagatavots tā, lai pārbaudēs tiktu iekļauti visu veidu zivju audzēšanas procesi, dažādu sugu un lieluma zivju audzēšana, dīķu nozvejas process, zivju mazuļu izlaišanas process. Plāns paredz iekārtas komponentu testēšanu dažādos apstākļos. Testēšana tika veikta dažādās diennakts stundās, dažādos laikapstākļos, dažādos zivēdājputnu aktivitātes periodos (mēnešos), kā arī tiks pārbaudīta komponentu ietekme un citiem ūdensputniem un zivīm. Testēšanas procesā uzmanība tika pievērsta komponentu darbības attālumam, kā arī to darbībai dažādos apstākļos (gaismas intensitāte, lietus, migla u.c.), kas ļaus prototipa izstrādē iekļaut efektīvākos optisko un akustisko signālu ģeneratorus.

Jūlija, augusta un septembra laikā iekārtas komponentes tika testētas zivju audzēšanas dīķos ar platību no 0.9 – 3 ha lielumā. Kā arī testēšanas laikā nekonstatējot Jūras kraukļu klātbūtni šajos dīķos, iekārtas tika testētas Daugavas upē lejpus Rīgas HES, kur tika konstatēti šīs sugas putni. Iekārtas tika testētas vienasaras un divvasaru mazuļu audzēšanas dīķos. Šajos dīķos tika audzēti zandartu, vimbu, karpu mazuļi. Testēšana tika veikta arī zandartu un vimbu mazuļu dīķu nozvejas procesā, kas atkarībā no dīķa lieluma ilga 2-3 diennaktis. Dīķu nozvejas laikā, ūdens līmenim pazeminoties, zivju mazuļi ir neaizsargātāki, zivēdājputniem pieejamāki, līdz ar to šī procesa laikā tiek novērota lielāka putnu koncentrācija.

Iekārtu komponentu testēšana notika gan atklāti, gan no slēpņiem, novērojot notiekošo ilgākā laika posmā. Sākotnēji tika vizuāli, nepieciešamības gadījumā izmantojot tālskatis, noteikta putnu suga, tad ar mērinstrumentiem attālums un gaismas intensitāte. Tad tika izmantota attiecīga vizuālās atbaidīšanas iekārta. Iegūtais rezultāts ierakstīts “Novērojumu tabulā”, datums, vieta, laika apstākļi, putnu sugas, putnu attālums no skaņas iekārtas, attālums no novērotajiem putniem, gaismas intensitāte, novērojumi, u.c. Audio atbaidītājs tika novietots attiecīgā pozīcijā. Atstājot to ieslēgtu, notiekošais tika novērots no slēpņa pietiekoši lielā attālumā, lai cilvēka klātbūtne netraucētu un neatbaidītu putnus. Otrā variantā audio atbaidītājs tika izslēgts un atradās līdz ~70m (maksimālais ierīces tālvadības pults darbības attālums) attālumā no slēpņa, lai atlidojot putniem to ieslēgtu un novērotu to reakciju. Šādi tika testētas visas četras iekārtas ģenerētās skaņas un rezultāti un citi dati pierakstīti novērojumu tabulās.

Iegūtie kopējie rezultāti ir attēloti pielikumā esošajās ikmēneša un apkopotajā tabulā.

Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedijamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

Lāzers	Apgaismojums (Lux)	Attālums (m)	Efekts	Piezīmes
Z.L.	8-8000	50 - 120	Ienirst	Jo mazāks apgaismojums, jo straujāk ienirst. Nevienā reizē nebija novērots, ka gaigalas būtu aizlidojušas.
	43 000 - 75 000	40 - 200	Nav efekta	
Z	8 - 650	50-100	Ienirst	
	7 50 00	100-200	Nav efekta	
S	8-1100	50 - 150	Ienirst	
	7 50 00	100	Ienirst	
Z.L.	8 -4300	80 - 200	Aizlido	Reizēm sanāca tā, ka uzspīdinot ar zaļo lielo lāzeri, ap 3000 luxiem uz gārņiem nebija efekta, bet dažreiz pie 4000 luxiem efekts bija.
	3000 - 75 000	100-200	Nav efekta	
Z	8	80	Aizlido	
S	8 - 3500	70- 180	Aizlido	
	70 000 - 75 000	100-200	Paskrien vai palido nedaudz tālāk	
Z.L.	6	60-130	Aizlido	Meža pīles ir mazjūtīgās pret lāzeriem. Tumšā, miglainā laikā lāzeriem bija novērojams efekts, bet kad jau palieks gaišāks, meža pīles no lāzeriem nebaidās
Z	6	60-130	Aizlido	
S	6	60-130	Aizlido	
	2000	30	Nebaidās	
Z.L.	2000	30	Aizlido	
	2000	150	Nebaidās	
Z	2000	30	Nebaidās	
S	2000	20	Aizlido	
	2000	30	Nebaidās	
Z.L.	2000	30	Baidās	
S	2000	10	Baidās	

Zaļais lāzers lielais

Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedijamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

Zaļais lāzers

Sarkanais Lāzers

2. Eksperimentu sērija

	Lāzers	Apgaismojums (Lux)	Attālums (m)	Effekts
Gaigala	Z.L.	8-8000	100-200	Ienirst
		16000	100 - 200	Nav efekta
	Z	8 - 2000	50-130	Ienirst
		7 50 00	100-200	Nav efekta
	S	8-2000	50 - 150	Ienirst
		1 60 00	100	Nav efekta
Gārnis	Z.L.	2000-38000	60-100	Aizlido
		38000-60 000	100-170	Nav efekta
	Z	120-20 000	80-150	Aizlido
		2600-60 000	160	Nav efekta
	S	16-2000	60-150	Aizlido
		60 000 - 75 000	100-200	Nav efekta
Meža pīles	Z.L.	0-8000	60-130	Aizlido
		38 000-60 000	50-150	Nav efekta
	Z	6-2000	60-130	Aizlido
		38 000-60 000	50-150	Nav efekta
	S	6-2000	60-130	Aizlido
		16 000-60 000	50-150	Nav efekta
Ķīris	Z.L.	2000-2600	140	Nav efekta
Z.L. Zaļais lāzers liels Z Zaļais lāzers S Sarkanais Lāzers				

3. Eksperimentu sērija

Lāzers		Apgaismojums (Lux)	Attālums (m)	Effekts
Gaigala	Z.L.	8-8000	40 - 120	Ienirst
		40 000 - 70 000	100 - 200	Nav efekta
	Z	8 - 8000	40-100	Ienirst
		7 00 00	100-200	Nav efekta
	S	8-8000	50 - 150	Ienirst
		40 000-70 000	100-150	Nav efekta
Gārnis	Z.L.	8 -4300	80 - 200	Aizlido
		3000 - 75 000	100-200	Nav efekta
	Z	8	80	Aizlido
	S	8 - 8000	40- 180	Aizlido
		7 00 00	40-200	Nav efekta
Meža pīles	Z.L.	20-80	60-130	Aizlido
Jūras krauklis	Z.L.	7000-8000	virs 200	Nereaģē
	Z	7000-8000	virs 200	Nereaģē
	S	7000-8000	virs 200	Nereaģē
Z.L. Z S Zaļais lāzers lielais Zaļais lāzers Sarkanais Lāzers				

Iekārtas efektīvas iedarbības tabula				
Lāzers		Attālums (m)	Apgaismojums (Lux)	Piezīmes
Gaigala	Z.L.	40-200	0-8000	Gaigalas reti aizlido, ja nobīstās, pārsvarā tikai ieirst uz neilgu laiku vai tiek iztraucētas (maina peldēšanas virzienu). Jaunās gaigalas, kas vēl nelido, slēpjas ienirstot un peldot prom.
	Z	40-130	0-8000	
	S	50-100	0-16 000	
		50-150	0-8000	
Gārnis	Z.L.	60-100	0-38 000	Nelielā apgaismmojumā gārņus ir diezgan viegli nobiedēt ar lāzeriem, un tai mirklī, kad nobīstās viens, aizlido viss bars. Bet vidēji pēc minūtēm 15-20 tie atgriežas atpakaļ.
		100-200	0-4500	
	Z	80-150	0- 20 000	
	S	40-180	0-8000	
Meža pīle	Z.L.	60-130	0-8000	Meža pīles vāji reaģē uz lāzeriem, lielākoties papildot nedaudz tālāk, vai ļoti retos gadījumos ienirstot.
	Z	60-130	0-2000	
	S	60-130	0-2000	
Z.L Zaļais lāzers lielais				
Z Zaļais lāzers				
S Sarkanais Lāzers				

Lielā tuvumā (līdz 50 m), gaigalas bija sākotnēji satraukušās (skaņa B un D), bet turpmāk reakcija pazuda, kā arī nereaģēja uz skaņām A un C. Gārņi sākotnēji nesēdās dīķos, skanot jebkurai skaņai, bet pēc dienas bija

Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedījamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

novērojams pieradums un gārņi nepievērsa skaņas iekārtai uzmanību, nosēdās vidēji 40-150 m attālumā no iekārtas. Uz skaņu B atsaucās vanagi.

Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedījamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

Pielikums.

Bildes no komponentu testēšanas



Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedijamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001



Septembris 30, 2018

Projekts „Hibrīdās intelektuālās akustiski-optiskās sistēmas izstrāde nemedījamo un migrējošu putnu sugu nodarīto postījumu samazināšanai Latvijas akvakultūras nozarē” Nr. 17-00-F02201-000001

