

Garsų kokybės traktorių kabinose tyrimas

Donatas Grakauskas, Gediminas Vasiliauskas

Aleksandro Stulginskio universitetas

Straipsnyje nagrinėjama žemės ūkyje naudojamų traktorių akustinė aplinka jų kabinose bei atliktas šios aplinkos vertinimas triukšmo kokybės požiūriu. Parinkta ir papildyta triukšmo matavimų traktorių kabinose tyrimų metodika. Tirti įvairios galios (80 – 220 AG) tiek vakarų tiek NVS šalių gamybos traktoriai. Nustatyta, jog triukšmo lygiai tirtose traktorininkų darbo vietose ribinės 87 dB(A) vertės neviršija, tačiau operatorių veikiančio triukšmo charakteris tiek spektro formos tiek ir garso kokybės požiūriu nėra palankus. Tyrimų rezultatai rodo, jog traktorių variklio sūkiams padidėjus iki 2200 min⁻¹ gali padidėti aukšto dažnio garsų įtaka triukšmo pakenčiamumui (psichoakustinio aštrumo vertė padidėja nuo 0,9 iki 1,2 acum), o psichoakustinio šiurkštumo, nusakančio laikinius triukšmo lygio svyravimus, vertės visais atvejais sūkius didinant mažėja dėl maskavimo reiškinio.

Garso kokybė, aštrumas, šiurkštumas, triukšmo lygis

Įvadas

Nuolat augant maisto poreikiui ir žemės ūkio produktų gamybai, tenka spręsti klausimus, susijusius ne tik su technologiniais auginimo ar derliaus nuėmimo procesais, tačiau ir šiuose procesuose naudojamos įrangos (mašinų) poveikiu darbuotojų saugai ir sveikatai. Nepaisant technologinio progreso tiek Lietuvos tiek kitų šalių žemės ūkyje intensyviai naudojama pasenusi darbo įranga, netenkinanti šių laikų minimalių darbuotojų saugos ir sveikatos teisės aktų reikalavimų. Tokios technikos dalis (senesnės nei 30 metų) Lietuvoje sudaro net iki 60 proc. (Nacionalinės sveikatos tarybos pranešimas, 2013). Pagal tiek Lietuvos, tiek Europos Sąjungos statistinius darbo vietų tyrimo ir profesinių ligų registro duomenis (Pundzius *et al.*, 2013) vieni iš dažniausiai darbo vietose pasireiškiančių profesinės rizikos veiksnių yra triukšmas ir rankas bei visą kūną veikianti vibracija, sukeliančios skeleto-raumenų bei klausos sistemos pažeidimus ar, ilgainiui, profesines ligas. Šiuos statistinius duomenis gerai papildė Puskunigio ir Butkaus (Puskunigis & Butkus, 2014) ir Butkaus kartu su bendraautoriais (Butkus, Šarlauskas, & Vasiliauskas, 2014) atlikti tyrimai, kurių rezultatai rodo nepakankamą vibroakustinės darbuotojų darbo aplinkos kokybę.

Daugelyje mokslo publikacijų (Aybek, Kamer, & Arslan, 2010; Deikus, Eičinas & Liegus, 2009; Dewangan, Kumar, & Tewari, 2005), norminių teisės aktų (Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai, 2005) triukšmo vertinimas darbo vietose apsiriboja triukšmo lygio matavimais (dB(A)) bei triukšmo ekspozicijos ($L_{EX,8h}$) skaičiavimu. Toks triukšmo vertinimas iš esmės apima tik energinę dedamąją, išreiškiamą bendru triukšmo lygiu, tačiau spektrinė triukšmo sudėtis ar laikinės charakteristikos (išskyrus didžiausias akimirkinės $L_{C,peak}$ vertes) nėra vertinamos. Pastaruoju metu nuolat augant naujų žemės ūkio mašinų skaičiui, o tuo pačiu ir gerėjant jas aptarnaujančių darbuotojų darbo sąlygoms aktualus tampa ne tiek triukšmo lygis $L_{p,A}$, dB(A), tačiau šio triukšmo charakteris, kuris iš esmės nusakomas garso spektru $L_{p,oct}$. Darbo vietose praktiškai tokie matavimų rezultatai naudojami tik parenkant asmenines klausos apsaugos priemones, nors subjektyvi triukšmo spektro dedamoji lemia triukšmo pakenčiamumą net tuomet, kai jo ekspozicijos lygis neviršija ribinės $L_{EX,8h}=87$ dB(A) vertės.

Triukšmo lygio nepastovumas laike, toninių komponentų buvimas ar didelis aukštų (žemų) dažnių skaičius gali lemti subjektyviai priimtinesnį (mažiau

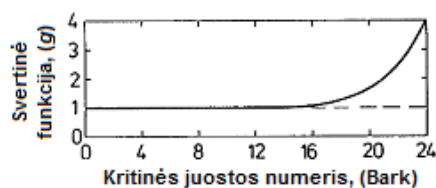
priimtina) triukšmo vertinimą. Toks vertinimas iš esmės remiasi psichoakustiniais reiškiniais sąlygotais žmogaus klausos laikinio ir dažninio garsų sumavimo. Mokslinių tyrimų šia tematika nėra daug, o informacijos apie šių rodiklių naudojimą žemės ūkio technikos keliamo triukšmo vertinimui pasigendama.

Siekiant įvertinti minėtus reiškinius naudojamos psichoakustiniais garsumo (*angl. loudness*), aštrumo (*angl. sharpness*), šiurkštumo (*angl. roughness*) rodikliais. Visų šių objektyvių rodiklių skaičiavimas atliekamas apjungiant standartinę FFT analizę bei žmogaus girdos principus, paremtus kritinių juostų (*Bark*) teorija (Fastl & Zwicker, 2007). Tokiam triukšmo vertinimui panaudojant garso kokybės rodiklius pastaruoju metu daug dėmesio skirta automobilių ir buities prietaisų pramonėje (Cerrato, 2009; de Oliveira *et al.*, 2009; Shin *et al.*, 2009). Garso kokybės vertinimas įgauna prasmę tuomet, kai nagrinėjami triukšmo lygiai yra mažesni nei ribinės jų vertės (nes tokiu atveju vyrauja psichologinė, o ne energinė dedamoji).

Tyrimų tikslas – atlikti žemės ūkyje naudojamų ratinių traktorių akustinės aplinkos jų kabinose vertinimą garso kokybės požiūriu.

Tyrimų metodika

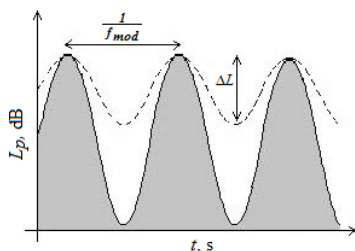
Iš vienodo girdimumo kreivių ar kitų jų išvestinių rodiklių yra žinoma, jog aukšto dažnio garsų erzinantis poveikis yra didesnis dėl žmogaus klausos dažninio atsako, todėl aukšto dažnio komponentų buvimas triukšmo spektre lemia jo charakterį. Kuo daugiau šių komponentų triukšmo spektre, tuo triukšmas turi aštresnį charakterį. Fastl ir Zwicker (Fastl & Zwicker, 2007) nustatė, kad aštrumo pojūtis pradeda ryškėti nuo 3 kHz dažnio arba 16 kritinės juostos, o dažniui didėjant tampa vis intensyvesnis. Dažnio įtaka psichoakustinio aštrumo skaičiavimuose vertinama funkcija (g), kurios vertės priklausomai nuo dažnio pateiktos 1 pav.



1 pav. Psichoakustinio aštrumo ir kritinės juostos svertinė funkcija g
Fig. 1. Weighting factor g for sharpness as a function of critical-band rate (Fastl & Zwicker, 2007)

Žinant svartinės funkcijos g vertę kritinėje juostoje ir specifinio garsumo N' vertes, aštrumo rodiklis skaičiuojamas kaip šių specifinių garsumų ir svartinės funkcijos sandaugos bei bendro garsumo santykis (Fastl & Zwicker, 2007). Psichoakustinis aštrumas mašinose ir įrenginiuose paprastai didesnis tuomet, kai vyrauja aukštų dažnio ir lygio triukšmas.

Laikinė triukšmo charakteristika (moduliacijos) taip pat gali sąlygoti šiuokštų triukšmo charakterį, kuris vertinimas šiuokštumo rodikliu. Šis reiškinys jaučiamas esant 15–150 Hz moduliacijos dažniams. Priklausomai nuo moduliacijos dažnio sukeliama subjektyvi reakcija gali būti garsumo svyravimas ($f_{mod} \leq 15$ Hz) ir šiuokštumas ($f_{mod} = 75$ Hz). Moduliacijos dažniui didėjant šiuokštumo pojūtis mažėja ir kai $f_{mod} = 150$ Hz tampa neįjuntamas (Fastl & Zwicker, 2007; Vassilakis & Kendall, 2010; Zwicker & Fastl, 1990). Psichoakustinis šiuokštumo rodiklis yra palyginamasis rodiklis, nusakomas mato vienetu asperu (*angl. asper*), kuris lygus vienetui, kai nagrinėjamas triukšmas yra 60 dB lygio 1 kHz 100 %, 70 Hz amplitudė moduliuotas signalas (Zwicker & Fastl, 1990). Principinė moduliacijos dažnio ir moduliacijos gylis schema pateikiama 2 pav. Psichoakustinio šiuokštumo vertinimas dažniausiai naudojamas variklio keliamam triukšmui vertinti, o padidėjusi šiuokštumo reikšmė rodo, jog triukšmo charakteris tapo labiau erzinantis ir „agresyvus“, net jeigu garsumas ar A-svertinis lygis nepakitė.



2 pav. Psichoakustinį šiuokštumą lemiančio moduliacijos dažnio f_{mod} ir moduliacijos gylis ΔL (Fastl, 2006)

Fig. 2. Explanation of the effect of modulation frequency f_{mod} and modulation depth ΔL to psychoacoustic roughness (Fastl, 2006)

Psichoakustinio šiuokštumo skaitinės reikšmės kaip ir aštrumo skaičiuojamos iš laikinės signalo charakteristikos panaudojant FFT principus ir psichoakustinę analizę. Vertinimas atliekamas kiekvienai kritinei juostai įvertinant skirtingas ΔL vertes. Šiuokštumas tuomet skaičiuojamas taip:

$$R \approx f_{mod} \cdot \int_0^{2A \text{ Bark}} \Delta L(z) dz, \quad (1)$$

čia: f_{mod} – moduliacijos dažnis, Hz;
 ΔL – moduliacijos gylis.

Siekiant ištirti akustinę aplinką operatoriaus darbo vietose buvo atliekami triukšmo matavimai. Iš traktorių parko pasirinkti septyni įvairių markių, gamintojų ir pagaminimo metų ratiniai traktoriai (1 lentelė). Pasirinkti įvairių gamintojų traktoriai plačiai naudojami Lietuvos ūkiuose, o skirtingų parametrų traktorių pasirinkimas leido įvertinti ar traktoriaus gamybos metai ir nusidėvėjimas turi įtakos triukšmo lygiui ir garso kokybės rodikliams.

1 lentelė. Tyrimuose naudotų ratinių traktorių sąrašas ir jų duomenys
Table 1. Wheeled tractors used for research and their data

Gamintojas, modelis, variklio galia <i>Manufacturer, model, engine power</i>	Gamybos metai ir išdirbis, mh <i>Year of manufacture and working hours, mh</i>
Zetor Frontera (140 AG)	2013, 500
MTZ Belarus 82 (82 AG)	1999, 3500
Deutz Fahr Agrottron (200 AG)	2006, 5000
New Holland 8630 (130 AG)	1991, 8900
John Deere 7700 (170 AG)	1998, 9100
Fendt 926 (220 AG)	1999, 9400
New Holland 8770 (190 AG)	1999, 9700

Triukšmo matavimai kabinose (operatorių darbo vietose) buvo atliekami pagal Lietuvos standarto LST ISO 1999:2004, o vertinimas pagal LST ISO 9612:2005 reikalavimus (LST ISO 1999:2004; LST ISO 9612:2005) bei Europos parlamento ir Tarybos direktyvą 2009/76/EB „Dėl ratinių žemės ar miškų ūkio traktorių vairuotojų veikiančio triukšmo lygio“ (Directive 2009/76/EB).

Remiantis aukščiau minėtos Direktyvos reikalavimais, triukšmas traktoriaus kabinose buvo matuojamas esant visoms angoms (durims, langams, liukams) uždarytiems. Traktoriaus variklis pašildomas iki darbinės temperatūros, papildomi įtaisai (valytuvai, šilto oro pūstuvai), kai atliekami matavimai, buvo išjungti. Matavimai buvo atliekami atviroje aikštelėje, šalia kurios 50 m atstumu nebuvo jokių antrinių triukšmo šaltinių ar atspindinčių objektų.

Siekiant įvertinti tiek triukšmo lygius tiek ir garso kokybės rodiklių pokyčius triukšmas traktorių kabinose buvo matuojamas, kai traktoriaus variklio alkūninio veleno sukiai buvo 800, 1800 ir 2200 min^{-1} . Laisvos eigos sukiai buvo pasirinkti 800 min^{-1} , kad būtų galima įvertinti triukšmo lygio ir garso kokybės rodiklius varikliui dirbant laisva eiga. Kadangi traktorių variklių nominalūs sukiai yra ~2200 min^{-1} , o pagal atliktus A. Juosto tyrimus (Juostas, 2012) optimalus darbo režimas yra 80 proc. nominalių sukčių, buvo pasirinkta triukšmą matuoti esant 1800 min^{-1} sukčiams.

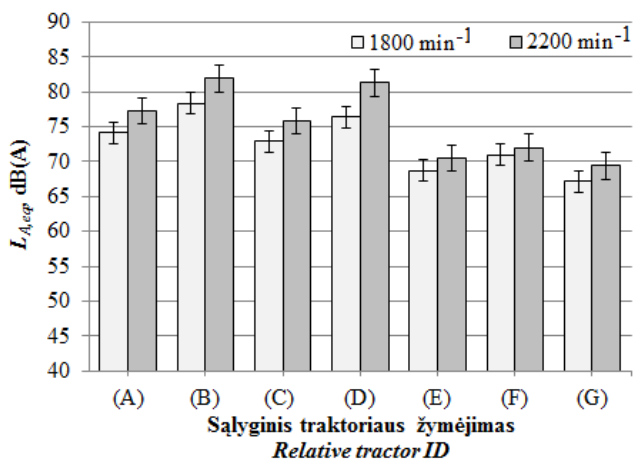
Triukšmo lygio matavimai tyrimų objektuose buvo atliekami pirmos tikslumo klasės triukšmo lygių analizatoriumi „Bruel&Kjaer“ 2270. Matavimų metu buvo fiksuojami $L_{A,eq}$, $L_{C,eq}$, $L_{C,peak}$ triukšmo lygiai ir oktavinis garso spektras $L_{p,oct}$.

Atliekant matavimus visais atvejais buvo kaupiami ne tik minėti triukšmo lygiai, tačiau ir saugomas skaitmeninis garso įrašas *.wav tipo formate. Kadangi garso kokybės rodiklių skaičiavimas specifinis, triukšmomačiai šių duomenų nekaupia, o psichoakustinių rodiklių dydžius galima apskaičiuoti analizuojant garso įrašus specializuota programine įranga. Šiame tyrime garso kokybės rodiklių skaitinės vertės buvo apskaičiuotos naudojant Bruel & Kjaer PULSE 15.1 programinę įrangą, Sound Quality opcija.

Matavimai ir skaičiavimai buvo atliekami mažiausiai tris kartus įvairiomis sąlygomis, o rezultatuose pateikiami šių matavimų aritmetiniai vidurkiai ir jų 95% pasikliautinieji intervalai.

Rezultatai ir aptarimas

Tyrimų analizė pirmiausia buvo atliekama vertinant A-svertinio triukšmo lygio matavimo rezultatus traktorių kabinose. Paveiksluose duomenys pateikiami nuo mažiausių iki didžiausių išdirbį turinčių traktorių. A-svertinio triukšmo lygio matavimų rezultatai pateikiami 3 pav.



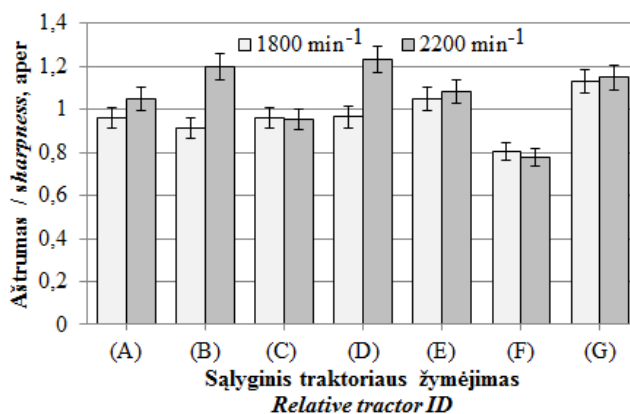
3 pav. A-svertinio triukšmo lygio matavimo rezultatai traktorių kabinose
Fig. 3. Measured A-weighted noise level in tractor cabs

Grafike pateikiami įvairių traktorių triukšmo lygiai kai alkūninio veleno sukiai 1800 aps/min ir 2200 aps/min. Matoma, jog sukų padidėjimas turi įtakos triukšmo padidėjimui, kuris apytiksliai (vidutiniškai) lygus 1 dB/100min⁻¹. Visais tirtais atvejais triukšmo lygis kabinose buvo mažesnis nei viršutinė vertė veiksams pradėti, t. y. 85 dB(A), o kai kuriais atvejais jis neviršijo žemutinės vertės veiksams pradėti, t. y. 80 dB(A). Tai iš esmės rodytų, jog triukšmas darbuotojų sveikatai neigiamo poveikio nesukels.

Lyginant skirtingų traktorių triukšmo lygius matoma, jog akustinė tokių mašinų aplinka nepriklauso nuo traktoriaus išdirbio, nes didžiausi triukšmo lygiai buvo užfiksuoti mažiausią išdirbį turinčiuose traktoriuose. Tai rodo, jog triukšmo lygis kabinose yra daugiausiai lemiamas ne traktoriaus išdirbio, tačiau konstrukcinių sprendimų, naudojamų triukšmui slopinti. Šie rezultatai taip pat įdomūs ir tuo, jog jeigu atitinkamai D–G atvejais esminių triukšmo lygio padidėjimo esant skirtingiems sukams nebuvo, tai A–D atvejais priešingai, variklio sukų didinimas ženkliai įtakoja akustinę traktorininko darbo vietos kokybę. Greičiausiai tai lemia įvairūs techniniai kabinos vibroizoliavimo sprendiniai ir pačios kabinos akustinė apdaila. Šie triukšmo lygio matavimo rezultatai iš esmės panašūs su Starkaus bei Butkaus (Starkus & Butkus, 2011) o taip pat Puskunigio ir Butkaus (Puskunigis & Butkus, 2014) rezultatais, kur buvo nustatyta jog traktoriaus išdirbis nėra lemiantis veiksnys akustinei aplinkai traktoriaus kabinose.

Siekiant palyginti A-svertinio triukšmo lygio vertes esant skirtingiems variklio sukams su psichoakustiniais rodikliais, buvo atliekami aštrumo skaičiavimai. Kadangi psichoakustinio aštrumo vertė didėja tuo daugiau, kuo daugiau aukšto dažnio komponenčių yra triukšmo spektre, tai variklio sukams didėjant psichoakustinio aštrumo vertė

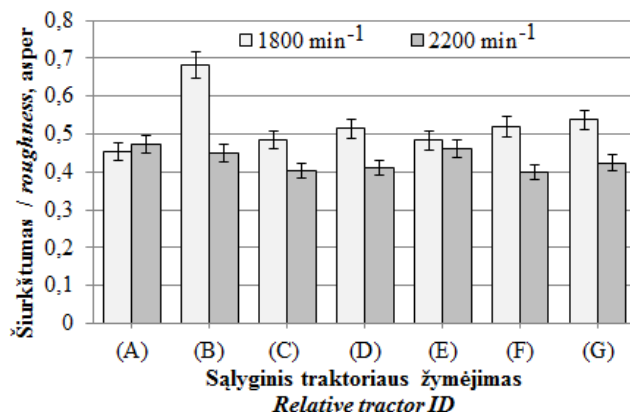
turėtų taipogi didėti. 4 pav. pateikiamos psichoakustinio aštrumo vertės.



4 pav. Psichoakustinio aštrumo skaičiavimo rezultatai traktorių kabinose
Fig. 4. Calculation results of psychoacoustic sharpness in tractor cabs

Iš tyrimo rezultatų matyti, jog ypač ryškus aštrumo pasikeitimas buvo (B) ir (D) atvejais, kas rodytų, jog triukšmo erzinantis poveikis tokio traktoriaus kabinose reikšmingai padidėja. Kitais atvejais skirtumai nėra esminiai, tačiau svarbu įvertinti tai, jog kabinų apdailai naudojamos medžiagos dažniausiai turi geriausią aukštų dažnių slopinamąjį efektą, todėl (C, E, F, G) atvejais, analogiškai ir A-svertinio lygio rezultatams, matoma kabinos įtaka. Kita vertus, lyginant, pavyzdžiui (G) atvejo rezultatus darytina išvada, jog nepaisant to, kad triukšmo lygis šio traktoriaus kabinose buvo mažiausias (<70 dB(A)), tačiau aštrumo vertė buvo viena didžiausių (1,17 acum prie 2200 min⁻¹). Subjektyviai tokia aplinka būtų vertintina kaip akustiniu požiūriu mažiau priimtina. Svarbu paminėti, jog psichoakustinio aštrumo ir triukšmo spektro (1/1 oktavos juostos) ryšys yra menkas, nes spektre atsispindi tik vidutinė oktavinio lygio vertė, tačiau ne skirtingo dažnio komponenčių skaičius.

Papildant šiuos rezultatus dėl aukšto dažnio triukšmo erzinančio poveikio buvo atliekami ir psichoakustinio šiurkštumo skaičiavimai. Šie rezultatai pateikiami 5 pav.



5 pav. Psichoakustinio šiurkštumo skaičiavimo rezultatai traktorių kabinose

Fig. 5. Calculation results of psychoacoustic roughness in tractor cabs

Bendroju atveju, šiurkštumo pojūtis yra tiesiogiai susijęs su variklio sukiais (tuo pačiu ir garsumu) ir laikine triukšmo charakteristika tarp gretimų harmonikų, todėl variklio sukams didėjant šiurkštumo vertės mažėja dėl

maskavimo efekto. Šie rezultatai panašūs su kitų mokslininkų rezultatais, kur iš esmės prieita išvados, jog variklio sūkiams didėjant šurkštumo reiškinys nyksta, t. y. nelieka specifinio dyzelinio variklio triukšmo charakterio (*angl. dieselness*). Šurkštumo vertės tirtuose traktoriuose vidutiniškai sumažėjo nuo 0,53 iki 0,43 asper. Tai rodytų, kad variklio sūkių didinimas gali iki neįjuntamos vertės sumažinti šurkštumą. Svarbu dėmesį atkreipti į tai, jog šios tendencijos gali keistis priklausomai nuo traktorių apkrovos sąlygų, kurios šiame tyrime analizuotos nebuvo. Šiuo atveju tikėtinas ne toks ryškus šurkštumo mažėjimas apkrvai didėjant.

Apibendrinant tyrimų rezultatus galima daryti išvadą, jog vien A-svertinis triukšmo lygis nerodo akustinės aplinkos priimtimumo, nes nevertinami laikiniai triukšmo spektro svyravimai galintys turėti ženklios įtakos pakenciamumui. Taip pat pažymėtina, jog traktorių kabinose ryškesnis šurkštumo mažėjimas (dėl lygio maskuojančio efekto), o ne aštrumo didėjimas (dėl geresnio aukšto dažnio komponentų slopinimo).

Išvados

1. Ratinių traktorių kabinose atliktų triukšmo matavimų rezultatų duomenimis nustatyta, jog traktoriaus išdirbis nėra pagrindinis veiksnys, lemiantis aukštą triukšmo lygį jų kabinose.

2. Nustatytos psichoakustinių garso kokybės rodiklių kitimo tendencijos skirtingais traktorių darbo režimais. Psichologiškai nepalanki aukšto dažnio komponentų įtaka vertinama aštrumo rodikliu didėjant sūkiams nuo 800 aps/min iki 2200 aps/min gali padidėti nuo 0,8 iki 1,2 acum.

3. Psichoakustinio šurkštumo vertė traktorių kabinose variklio sūkiams padidėjus nuo 1800 iki 2200 min⁻¹ tirtuose traktoriuose vidutiniškai sumažėja 0,1 asper dėl padidėjusio A-svertinio triukšmo lygio įtakos.

Literatūra

1. AYBEK, A., KAMER, H. A., & ARSLAN, S. (2010). Personal noise exposures of operators of agricultural tractors. [doi: DOI: 10.1016/j.apergo.2009.07.006]. *Applied Ergonomics*, 41(2), 274-281.

- BUTKUS, R., ŠARLAUSKAS, A., & VASILIAUSKAS, G. (2014). Prognostication of noise exposure risk on workers' safety and health in Lithuania. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 1-8. doi: 10.3846/16486897.2014.919923
- CERRATO, G. (2009). Automotive sound quality-powertrain, road and wind noise. *Sound and Vibration*, 43(4), 16-24.
- DE OLIVEIRA, L. P. R., JANSSENS, K., GAJDATSY, P., VAN DER AUWERAER, H., VAROTO, P. S., SAS, P., & DESMET, W. (2009). Active sound quality control of engine induced cavity noise. [doi: DOI: 10.1016/j.ymsp.2008.04.005]. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 23(2), 476-488.
- DEIKUS, J., EICINAS, J., & LIEGUS, M. (2009). Research of tractor noise at acceleration mode. *Journal of Vibroengineering*, 11(2), 322-330.
- DEWANGAN, K. N., KUMAR, G. V. P., & TEWARI, V. K. (2005). Noise characteristics of tractors and health effect on farmers. [doi: DOI: 10.1016/j.apacoust.2005.01.002]. *Applied acoustics*, 66(9), 1049-1062.
- Directive 2009/76/EC of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 relating to the driver-perceived noise level of wheeled agricultural or forestry tractors. [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0076:EN:NOT\(2014-01-10\)](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32009L0076:EN:NOT(2014-01-10))
- FASTL, H., & ZWICKER, E. (2007). *Psychoacoustics: facts and models* (3. ed.). Berlin: Springer.
- JUOSTAS, A. dr. (2012) Vidutinės galios traktorių variklių apkrovos, degalų sąnaudų ir deginių emisijos racionali sąveika 2013, Akademija, Kaunas.
- LR Sveikatos apsaugos ministerija. (2013). Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai, Valstybės žinios, 2013-07-01, Nr. 70-3541
- LST ISO 1999:2004. *Akustika. Darbo vietų triukšmo ekspozicijos nustatymas ir klausos pablogėjimo dėl triukšmo poveikio įvertinimas*.
- LST ISO 9612:2009. *Akustika. Darbo vietų triukšmo ekspozicijos nustatymas. Ekspertinis metodas*
- PUNDZIUS, J., ŽEKAS, R., VEČKIENĖ, I. (2013). *Nacionalinės sveikatos tarybos pranešimas*. Vilnius
- PUSKUNIGIS, T., BUTKUS, R. (2014). *Traktorininkų veikiančių triukšmo lygių ir ekspozicijos tyrimai*. Paper presented at the Žmogaus ir gamtos sauga 2014, Akademija, Kaunas.
- SHIN, S. H., IH, J. G., HASHIMOTO, T., & HATANO, S. (2009). Sound quality evaluation of the booming sensation for passenger cars. *Applied Acoustics*, 70(2), 309-320.
- STARKUS, T., & BUTKUS, R. (2011). *Traktorininkų veikiančių triukšmo lygių ir ekspozicijos tyrimai*. Paper presented at the Žmogaus ir gamtos sauga 2011, Akademija, Kaunas.
- VASSILAKIS, P. N., & KENDALL, R. A. (2010). *Psychoacoustic and cognitive aspects of auditory roughness: Definitions, models, and applications*.
- ZWICKER, E., & FASTL, H. (1990). *Psychoacoustics: facts and models*. Berlin ; New York: Springer.

Donatas Grakauskas, Gediminas Vasiliauskas

Investigation of sound quality in the cabs of agricultural tractors

Summary

Article reviews acoustical climate in wheeled agricultural tractors operating at different engine speeds by using traditional A-weighted noise level measurements as well as sound quality metrics such as psychoacoustic sharpness and roughness. Tractors made in CIS and western countries from 80 to 220 hp were investigated. It was found that exposure limit value of 87 dB(A) was not exceeded, but noise spectrum and its character should be attributed as unfavorable. Data show that increase in engine RPM to 2200 min⁻¹ also increases psychoacoustic sharpness from 0,9 to 1,2 acum meanwhile psychoacoustic roughness has a tendency to decrease because of masking effects and increased overall loudness (SPL).

Noise level, sound quality, sharpness, roughness

Gauta 2015 m. kovo mėn., atiduota spaudai 2015 m. balandžio mėn.

Donatas GRAKAUSKAS, Aleksandro Stulginskio universiteto, Žemės ūkio inžinerijos fakulteto, Žemės ūkio inžinerijos ir saugos instituto magistrantas. Tel. +37060714030 El. paštas: donatag891@gmail.com

Gediminas VASILIAUSKAS, lekt., Aleksandro Stulginskio universiteto, Žemės ūkio inžinerijos ir saugos instituto lektorius. Adresas: Studentų g. 15, LT-53361 Akademija, Kauno raj. Tel. +37068977015, el. paštas gvasiliauskas@gmail.com

Donatas GRAKAUSKAS, Master student at the Faculty of Agricultural Engineering of Aleksandras Stulginskis University.

Phone: +37060714030 E-mail: donatag891@gmail.com

Gediminas VASILIAUSKAS, lecturer at Aleksandras Stulginskis University, Faculty of Agricultural Engineering, Institute of Agricultural Engineering and Safety, Address: Studentu str. 15, LT-53361 Akademija, Kaunas distr. Phone: +37068977015, e-mail: gvasiliauskas@gmail.com