

**FS****UNIVERZA V LJUBLJANI**
Fakulteta za strojništvo**Laboratorij za energetske delovne stroje in tehnično akustiko, LEDSTA**

Strokovne podlage za spremembo zakonodaje s področja hrupa toplotnih črpalk

Naročnik: Republika Slovenija, Ministrstvo za Okolje, Podnebje in Energijo
Langusova ulica 4
1000 Ljubljana

Predstavnik naročnika: Tone Kvasič, tone.kvasic@gov.si

Št. poročila:

Datum: 7. 07. 2025

Avtor poročila: asist. dr. Luka Čurović

Meritve in analize: asist. dr. Luka Čurović
doc. dr. Jure Murovec

Asistenti: Andrej Hvastja
Anže Železnik
Nejc Cerkovnik

Vodja laboratorija: izr. prof. dr. Jurij Prezelj

**Vsebina**

PROJEKTNNA NALOGA.....	5
1. FAZA 1: PREGLED STANJA.....	6
1.1. Pregled literature	6
1.2. Pregled predpisov držav članic EU s področja hrupa v okolju zaradi obratovanja toplotnih črpalk	15
1.3. Pregled predpisov držav izven EU s področja hrupa v okolju zaradi obratovanja toplotnih črpalk	29
1.4. Pregled Slovenske okoljske in gradbene zakonodaje	33
1.5. Zaključek in pomembnejše ugotovitve	40
2. FAZA 2: AKUSTIČNA KARAKTERIZACIJA HRUPA TOPLOTNE ČRPALKE	41
2.1. Pregled podatkov o toplotni moči v povezavi z zvočno močjo toplotnih črpalk na podlagi podatkov proizvajalcev	43
2.2. Pregled laboratorijskih standardov za določanje ravni zvočne moči toplotnih črpalk, na katere se sklicujejo proizvajalci	48
2.3. Pregled hrupnih virov v sklopu toplotne črpalke katerih identifikacija je lahko podlaga za izvedbo ukrepov varstva pred hrupom	51
2.4. Pregled pomembnejših emisijskih lastnosti toplotne črpalke, ki vplivajo na emisije hrupa	54
2.5. Pomembnejše ugotovitve.....	68
3. FAZA 3: PREGLED METOD OCENJEVANJA HRUPA TOPLOTNIH ČRPALK V OKOLJU V POSTOPKU NAČRTOVANJA	72
3.1. Avstrija	72
3.2. Švica	74
3.3. Nemčija.....	76
3.4. Velika Britanija	78
3.5. Nizozemska	80
3.6. Slovenija	81
3.7. Študija primera.....	82
3.8. Zaključek in ugotovitve	84
4. FAZA 4: METODA ZA OCENJEVANJE HRUPA TOPLOTNIH ČRPALK NA PODLAGI MERITEV	86



4.1.	Izbira mesta ocenjevanja	86
4.2.	Lokacija merilnega mesta	88
4.3.	Pogoji okolja v času meritev	89
4.4.	Čas trajanja meritve	90
4.5.	Parametri hrupa	91
4.6.	Popravek zaradi poudarjenih tonov	91
4.7.	Popravek zaradi prisotnosti izrazitih impulzov	92
4.8.	Popravki zaradi drugih akustičnih lastnosti toplotnih črpalk	92
4.9.	Upoštevanje časa obratovanja v ocenjevalnem obdobju	93
4.10.	Ugotavljanje prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa in ocenjevanje nizkofrekvenčnega hrupa	93
4.11.	Upoštevanje hrupa ozadja oziroma obremenitev okolja s hrupom s preostalimi viri hrupa glede na lokacijo mesta ocenjevanja	94
4.12.	Ocenjena imisijska raven hrupa	95
4.13.	Zahteve glede merilne negotovosti in določanje merilne negotovosti	96
4.14.	Zahtevana merilna oprema in programska oprema	97
4.15.	Kompetence in izkušnje izvajalca	98
4.16.	Povzetek	98
 5. FAZA 5: RAZVOJ POENOSTAVLJENE METODOLOGIJE ZA OCENJEVANJA HRUPA		
TOPLOTNE ČRPALKE NA PODLAGI IZRAČUNA		102
5.1.	Razvoj poenostavljene metode za določanje zvočne moči toplotne črpalke na terenu .	103
5.2.	Upoštevanje ravni zvočne moči v odvisnosti od klimatskih pogojev	103
5.3.	Obseg veljavnosti metodologije z navedbo primerov, kjer se metodologija lahko uporablja	104
5.4.	Razvoj enostavne metode za aplikacijo namenjeno ocenjevanju ravni hrupa pred izpostavljenim objektom na podlagi izračuna	104
5.5.	Upoštevanje psihoakustičnih popravkov zaradi tonalnosti, nizkofrekvenčnega hrupa, impulzov, časa obratovanja	109
5.6.	Upoštevanje lokacije mesta ocenjevanja glede na obstoječo obremenitev okolja s hrupom (upoštevanje ozadja)	111
5.7.	Računska oprema oziroma orodje za izračun hrupa, ki bi ga lahko uporabili instalaterji (za potrebe online aplikacije)	112
5.8.	Izbor računske metode in zahtev v primeru, ko gre za kompleksno situacijo, ki je ne moremo obravnavati v sklopu enostavne računske metode, (za potrebe online aplikacije)	112



5.9.	Zaključek.....	113
6. FAZA 6: PREDLOG PROTIHRUPNIH UKREPOV		115
6.1.	Primarni ukrepi.....	115
6.2.	Sekundarni ukrepi.....	116
6.3.	Zaključek.....	122
DODATEK A: PRIMER MERITEV HRUPA TOPLOTNE ČRPALKE 1		124

PROJEKTNNA NALOGA

V luči naraščajoče uporabe toplotnih črpalk (TČ) kot trajnostnega vira ogrevanja in hlajenja, postaja vprašanje glede njihovega hrupa vse pomembnejše. Poleg energetske učinkovitosti in zmanjšanja emisij toplogrednih plinov je hrup ključni dejavnik, ki vpliva na sprejemljivost in zadovoljstvo uporabnikov ter prebivalcev. Dosedanje izkušnje kažejo, da hrup TČ, ki je lahko tonalen, nizkofrekvenčen in moteč zaradi tranzientnega načina delovanja, v nekaterih primerih povzroča motečo obremenitev uporabnikov ter prebivalcev.

Cilj projekta "Hrup toplotnih črpalk" je obravnavati problematiko hrupa v okolju z analizo veljavne slovenske zakonodaje in uveljavljenih standardov in predpisov, ki se uporabljajo v tujini (npr. nemških, švicarskih in ameriških). Projekt vključuje pregled in analizo metodologij za ocenjevanje in vrednotenje nizkofrekvenčnega hrupa, vključno z razliko med dB(C) in dB(A) ter uteženjem spektra. V sklopu projekta je predviden tudi razvoj poenostavljene računske metodologije za določanje potrebne razdalje med toplotno črpalko in točko imisije, kot tudi maksimalne dovoljene vrednosti ravni zvočne moči (L_W) toplotnih črpalk na določeni oddaljenosti.

Predstavljeni bosta tudi metodi za merjenje zvočne moči TČ in ocenjevanje ravni hrupa na mestu imisije na podlagi meritev, ki bosta upoštevali standardne postopke. Poseben poudarek bo na validaciji metod z modeliranjem po ISO 9613-2:2024 in potrditvenimi eksperimenti.

Zaključni del projekta bo posvečen priporočilom za izvedbo ukrepov za zmanjšanje hrupa, vključno z vibroizolacijo, uporabo okrovov in protihrupnih pregrad ob upoštevanju zagotavljanja pretoka zraka skozi ventilatorje na toplotnih izmenjevalcih.

S tem projektom želimo zagotoviti strokovno podlago za spremembo zakonodaje s področja hrupa v Sloveniji, ki bo upoštevala najsodobnejše pristope in tehnologije za merjenje in ocenjevanje hrupa TČ. Projekt bo imel pomemben vpliv na izboljšanje kakovosti bivanja in varstva okolja, hkrati pa bo spodbudil industrijo k razvoju tišjih TČ.

1. Faza 1: pregled stanja

Prehod iz energetskih sistemov, ki temeljijo na fosilnih gorivih, k čistejšim in bolj trajnostnim virom energije je izpostavljen kot prednostna naloga za doseg dolgoročnih energetskih in podnebnih ciljev EU in Slovenije. Pri tem imajo toplotne črpalke pomembno vlogo.

Toplotna črpalka je v osnovi naprava, ki s pomočjo vložene energije črpa toploto iz nizkotemperaturnega obnovljivega vira energije v visokotemperaturni ponor. Toplotna črpalka pa je tudi naprava zaradi katere nastaja občasna ali stalna emisija hrupa v notranje in zunanje okolje. Hrup toplotnih črpalk se lahko bistveno razlikuje od bolj znanih in razširjenih virov hrupa, kot so na primer cestni in železniški promet ter naprave, ki se uporabljajo v industrijski, obrtni, proizvodni, storitveni in kmetijski dejavnosti. V prihodnosti pričakujemo, da se bo izpostavljenost prebivalcev novim virom hrupa (toplotnim črpalkam) povečala. V tem pogledu postaja vprašanje normativne ureditve njihovega hrupa vse pomembnejše. Emisije hrupa zaradi obratovanja toplotnih črpalk so tako eden izmed vidikov, ki jih je potrebno obravnavati pred njihovo umestitvijo v prostor. Poznamo več tipov toplotnih črpalk pri čemer so najbolj razširjene toplotne črpalke zrak-voda zato se večino strokovnih podlag nanaša na ta tip. Zanimanje tega vidika bi lahko oviralo razvoj sektorja, hkrati pa preprečilo, da bi se spodbujale dobre tehnične rešitve.

Namen prve faze je pregled stanja s področja hrupa, ki se širi v okolje zaradi delovanja toplotnih črpalk ali podobnih naprav, ki je obsegal pregled znanstvene literature ter pregled različnih nacionalnih predpisov oziroma zakonodaje. Pregledana je bila tudi slovenska okoljska in gradbena zakonodaja s področja hrupa v okolju in hrupa v stavbah.

1.1. Pregled literature

Pregled znanstvene literature s področja emisij hrupa toplotnih črpalk, ki je dostopna preko baz Google Scholar, Researchgate, Science direct kaže na izrazito pomanjkanje študij s tega področja.

Raziskovalno in razvojno delo na področju toplotnih črpalk, ki se uporabljajo za ogrevanje stanovanjskih stavb se večinoma osredotoča na inteligentno krmiljenje ogrevalnih in hladilnih sistemov s toplotno črpalko [1, 2, 3, 4]. Raziskovalci razvijajo algoritme, ki temeljijo na parametrih, kot so vremenski pogoji [5] ali prisotnost človeka v stavbi [6, 7, 8]. Z implementacijo naprednih algoritmov za pametno krmiljenje toplotnih črpalk [3, 9, 10] je mogoče doseči večjo energetsko učinkovitost [11] kot tudi izboljšano toplotno udobje [12]. Naprednejši algoritmi delujejo na podlagi algoritmov umetne inteligence [13, 14].

Ogrevalni in hladilni sistemi različnih proizvajalcev so individualno zasnovani in krmiljeni. Posledično se razlikujejo tudi glede na učinkovitost. Huchtemann in Muller [15] sta na primer ovrednotila učinkovitost ('retrofit') toplotnih črpalk, ki so bile nameščene kot zamenjava za obstoječ sistem

ogrevanja na podlagi podatkov, ki so bili pridobljeni v sklopu realnih terenskih testov. Razlika med črpalkami z najvišjimi sezonskimi vrednostmi učinkovitosti in povprečno učinkovitostjo vseh naprav različnih proizvajalcev je bila ocenjena kot velika. Po eni strani to pomeni, da ima tehnologija velik potencial, po drugi strani, pa, da je mogoče veliko učinkovitost doseči le z optimizacijo celotnega ogrevalnega sistema.

Večina akustičnih raziskav se osredotoča le na posamezne hrupne vire v sklopu toplotne črpalke. To so ventilator, kompresor in toplotni izmenjevalec katerih emisije hrupa se analizirajo z uporabo različnih analitičnih, numeričnih in eksperimentalnih pristopov v laboratorijskem okolju.

Gustafsson in ostali [16] so raziskovali emisije hrupa povezane s toplotnimi izmenjevalniki s ploščatimi lamelami. Pri tem so ugotovili, da je njihov neposredni hrup minimalen, vendar pa lahko konfiguracija lamel pomembno vpliva na hrup ventilatorja in splošno energetsko učinkovitost sistema. Kasneje [17] so teoretično pokazali, da lahko tip toplotnega izmenjevalca in njegova konstrukcijska posredno vplivata na hrup ventilatorja toplotne črpalke zaradi vpliva na pretočne in tlačne razmere v sistemu. Isti avtorji [18] so preučevali tudi emisije impulznega (tranzientnega) hrupa, ki nastane zaradi ventila, ki se sproži ob začetku faze odmrzovanja. Pri tem so ugotovili, da so tlačne razlike v sistemu ključni dejavnik, ki vpliva na raven hrupa. Predlagan je bila tudi protihrupni ukrep na podlagi krmiljenja, ki vključuje obdobje prostega teka pred odmrzovanjem, ki lahko bistveno zmanjša hrup z minimalnim vplivom na energetsko učinkovitost. Thielecke [19] in ostali so pred kratkim predstavili metodo aktivnega nadzora (Current Shaping - CS) za zmanjšanje hrupa toplotne črpalke. Z razvito metodo je mogoče zmanjšati minimizacije vibracije kompresorja, ki je glavni vir hrupa v frekvenčnem območju pod 400 Hz. Metodo so validirali na testni progi s kompresorjem in jo preskusili dejanski toplotni črpalki.

Emisije hrupa v okolju zaradi obratovanja toplotnih črpalk v splošnem obravnavajo članki avtorjev Boyce iz leta 1984 [20], Cozza in ostali [21] ter Langerova in ostali [22]. Boyce [20] ugotavlja, da lahko toplotne črpalke tipa zrak-voda, ki se uporabljajo za ogrevanje gospodinjstev, povzročajo hrup, če niso nameščene po načelu previdnosti. Za zmanjšanje obremenjenosti okolja s hrupom, ki jih povzroča toplotna črpalka in zaradi obvladovanja tveganj, ki so povezana z motnjami okoliških prebivalcev zaradi hrupa je potrebno (a) izbrati tiho toplotno črpalko, katere imisije hrupa ne vsebujejo poudarjenih tonov ali izrazitih impulzov in (b) jo umestiti na ustrezno lokacijo. Avtor je predvidel, da bo v nekaterih okoliščinah morda potrebna tudi uporaba protihrupnih ohišij in/ali dušilcev zvoka. Cozza in ostali [21] so raziskovali razmerje med toplotno močjo (v kW) in ravno zvočne moči komercialno dostopnih toplotnih črpalk. Njihova analiza je pokazala, da se ravni hrupa komercialnih toplotnih črpalk bistveno razlikujejo glede na določeno toplotno moč ter, da so za gosto naseljena območja primerne le črpalke z nižjimi ravnmi zvočne moči.

Langerova in ostali [22] v preglednem članku o hrupu toplotnih črpalk na poselitvenih območjih ugotavljajo, da imajo toplotne črpalke ključno vlogo pri razvoju trajnostnih naselij z zagotavljanjem učinkovitih in obnovljivih rešitev ogrevanja, ki prispevajo k zmanjšanju emisij ogljika [23]. Kot del prizadevanj za doseganje trajnostnih ciljev je Evropska Unija zagotavljala subvencije za spodbujanje vgradnje toplotnih črpalk [24]. Ta podpora je obrodila sadove, kar dokazujejo rezultati statistične raziskave, ki jo je objavilo Evropsko združenje toplotnih črpalk [25], ki je pokazala znatno povečanje

prodaje toplotnih črpalk po vsej Evropi. Trenutno pa je eden glavnih izzivov pri širšem sprejemanju toplotnih črpalk na stanovanjskih območjih zaskrbljenost končnih uporabnikov glede njihovega hrupa.

Toplotne črpalke se prodajajo na notranjem trgu Evropske unije. Njihova proizvodnja in dajanje na trg je regulirana z zakonodajo na področju proizvodov. Skladno s tem so ključne energetske lastnosti toplotnih črpalk povzete z energetske nalepke. Akustične (hrupne) lastnosti toplotne črpalke v sklopu energetske nalepke so podane z eno-številsko vrednostjo oziroma A – vrednoteno ravno zvočne moči označeno kot L_{WA} . Tipično se enaki podatki navajajo tudi v tehničnih specifikacijah naprav. Eno-številski raven zvočne moči kot je podana na energetske nalepki pa ni ustrezna za potrebe ocenjevanja emisij hrupa v okolje zaradi toplotnih črpalk. Za relevantno izvedbo presoje vplivov na okolje bi bilo potrebno podatke o zvočni moči dopolniti vsaj s frekvenčno karakteristiko in obravnavo različnih obratovalnih stanj, ki so odvisne od hitrosti in obremenitve kompresorja in ventilatorja, ciklov povezanih z odmrzovanjem, nastavitve temperature vode, zunanje temperature zraka, vlažnosti, lokacije, uporabo tihega načina in namestitve toplotne črpalke.

Posledica ocenjevanja obremenjenosti hrupa v okolju na podlagi pretirano poenostavljenega pristopa povzetega po energetske nalepki je umeščanje toplotnih črpalk na neprimerne lokacije, zaradi česar se je tudi povečalo število pritožb s področja hrupa v okolju. Povečano število pritožb beležijo tudi v drugih Evropskih državah, na primer v Nemčiji, na Češkem in v Združenem kraljestvu [26, 27, 28]. Pregledni članek izpostavlja potrebo po bolj transparentnem podajanju informacije o akustičnih lastnostih toplotnih črpalk s čimer se bo lahko izboljšalo zvočno okolje v stanovanjskih območjih.

Raziskovalci izpostavljajo, da ima hrup toplotne črpalke lahko nekatere nezaželene psiho-akustične lastnosti, kot je pojav poudarjenih tonov v nizkofrekvenčnem območju [22, 29], kar lahko vpliva na zvočno okolje, kjer se toplotna črpalka nahaja. V preglednem članku [22] je izpostavljen pomen nizkofrekvenčnega hrupa. Tudi, ko so ravni hrupa toplotne črpalke nižje od zakonsko dovoljenih omejitev, ostaja lahko nizkofrekvenčni zvok zelo moteč.

Glavna vira nizkofrekvenčnega hrupa v sklopu toplotne črpalke sta kompresor in ventilator [22]. Pri tem je potrebno upoštevati, da se lahko pomembnost posameznih virov hrupa lahko spremeni glede na pogoje delovanja toplotne črpalke. Dejavniki, kot so vrsta kompresorja, njegova hitrost, hitrost ventilatorja in število lopatic ter posebne nastavitve toplotne črpalke imajo pomemben vpliv. Avtorji v preglednem članku zato predlagajo, da se podatki o akustičnih lastnostih črpalk dopolnijo s podatki o ravneh hrupa v nizkofrekvenčnem območju s čimer bo mogoča ustreznejša obravnava njihovega vpliva na obremenjenost okolja s hrupom v stanovanjskih naseljih.

Trenutne metode, ki se uporabljajo za ocenjevanje hrupa v okolju so splošne narave in niso specifično namenjene nizko-frekvenčnim virom hrupa [22, 25, 31]. V našem vsakdanjem okolju je sicer veliko virov, ki lahko ustvarjajo nizkofrekvenčni zvok, kot so plinske turbine, motorji, kompresorji, prezračevalni sistemi, helikopterji, viadukti, pnevmatska orodja in prometna infrastruktura [31, 32, 33].

Zdravstvene študije [34, 35] kažejo, da je nizkofrekvenčni zvok lahko dejavnik okoljskega stresa, in zdi se, da so lahko učinki nizkofrekvenčnega zvoka na zdravje resnejši od učinkov splošnega hrupa [32, 34, 36, 37, 38].

Vse več je dokazov, da so viri nizkofrekvenčnega zvoka tudi glavni viri pritožb zaradi neželenega hrupa [35, 30, 39, 40]. Po podatkih Nizozemskega inštituta za javno zdravje in okolje so zdravstveni organi od leta 2016 prejeli več pritožb zaradi nizkofrekvenčnega hrupa kot zaradi običajnega hrupa. Po podatkih Bengtssona in Waye [41] se 44 % vseh pritožb glede hrupa nanaša na nizkofrekvenčni hrup.

V preteklosti se je manj pozornosti posvečalo infrazvoku in nizkofrekvenčnemu hrupu, ker je onesnaženje s hrupom v urbanih območjih na splošno bolj povezano s prometni viri, kot so ceste, železnice in letališča. To so tudi glavni viri hrupa v okolju, ki jih obravnavajo smernice Svetovne zdravstvene organizacije in zahteve Direktiv na področju hrupa v okolju. V akustičnem smislu je te vire mogoče uspešno popisati z A-vrednotenimi ravni zvočnega tlaka.

Po drugi strani so bile raziskave s področja infrazvoka in nizkofrekvenčnega hrupa zanemarjene. Eden glavnih razlogov za pomanjkanje podatkov iz realnega okolja je, da so meritve nizkofrekvenčnega zvoka v okolju lahko povezane z velikimi stroški in časovno zahtevne. Standardne tehnike za merjenje hrupa (npr. uporaba A-vrednotenja) pa niso primerne za učinkovito zaznavanje nizkofrekvenčnih komponent, kar dodatno otežuje tudi analizo [30]. Uporaba A - vrednotenja podcenjuje vpliv nizkofrekvenčnih virov zvoka na hrup v okolju (npr. [42, 43, 44, 45]) in vodi k neustrezni obravnavi nizkofrekvenčnega hrupa [46, 47, 48].

Napovedovanje nizkofrekvenčnega hrupa v okolju dodatno otežuje dejstvo, da je tudi merjenje emisij oziroma zvočnih moči osredotočeno na eno samo emisijsko vrednost izraženo kot LWA pri idealnih obratovalnih pogojih [22, 49], ki jih lahko dosežemo le v laboratoriju v omejenem frekvenčnem območju [49].

V večini resničnih primerov so dejanske okoljske razmere daleč od idealnih. Ta vidik je ključnega pomena v stanovanjskih območjih, kjer morajo naprave izpolnjevati zahteve predpisov, ki pa zahtevajo celovito frekvenčno analizo hrupa [22, 45].

Na neustreznost obstoječih oziroma klasičnih metod kaže dejstvo, da se pritožbe glede hrupa pojavljajo, kljub temu, da zakonske določene mejne ravni hrupa niso presežene [22,50].

Viri:

- [1] P. Potočnik, B. Vidrih, A. Kitanovski, E. Govekar, Analysis and optimization of thermal comfort in residential buildings by means of a weather-controlled air-to-water heat pump, Building and Environment 140 (2018) 68–79. doi:10.1016/j.buildenv.2018.05.044. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.05.044>
- [2] H. Thieblemont, F. Haghighat, R. Ooka, A. Moreau, Predictive control strategies based on weather forecast in buildings with energy storage system: A review of the state-of-the art,

- Energy and Buildings 153 (2017) 485–500. doi:10.1016/j.enbuild.2017.08.010. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.010>
- [3] C. Kandler, P. Wimmer, J. Honold, Predictive control and regulation strategies of air-to-water heat pumps, Energy Procedia 78 (2015) 2088–2093. doi:10.1016/j.egypro.2015.11.239. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.239>
- [4] H. Madani, J. Claesson, P. Lundqvist, Capacity control in ground source heat pump systems, International Journal of Refrigeration 34 (6) (2011) 1338–1347. doi:10.1016/j.ijrefrig.2011.05.007. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2011.05.007>
- [5] Y. Kwak, J.-H. Huh, Development of a method of real-time building energy simulation for efficient predictive control, Energy Conversion and Management 113 (2016) 220–229. doi:10.1016/j.enconman.2016.01.060. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.060>
- [6] J. Langevin, P. L. Gurian, J. Wen, Tracking the human-building interaction: A longitudinal field study of occupant behaviour in air-conditioned offices, Journal of Environmental Psychology 42 (2015) 94–115. doi:10.1016/j.jenvp.2015.01.007. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.01.007>
- [7] S. D'Oca, T. Hong, J. Langevin, The human dimensions of energy use in buildings: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 81 (2018) 731–742. doi:10.1016/j.rser.2017.08.019. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.019>
- [8] M. Schweiker, Understanding occupants' behaviour for energy efficiency in buildings, Current Sustainable/Renewable Energy Reports 4 (1) (2017) 8–14. doi:10.1007/s40518-017-0065-5. URL <http://dx.doi.org/10.1007/s40518-017-0065-5>
- [9] H. B. Gunay, J. Bursill, B. Huchuk, W. O'Brien, I. Beausoleil-Morrison, Shortest-prediction-horizon model-based predictive control for individual offices, Building and Environment 82 (2014) 408–419. doi:10.1016/j.buildenv.2014.09.011. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.011>
- [10] J. Zhuang, Y. Chen, X. Chen, A new simplified modeling method for model predictive control in a medium-sized commercial building: A case study, Building and Environment 127 (2018) 1–12. doi:10.1016/j.buildenv.2017.10.022. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.10.022>
- [11] M. Wallace, P. Mhaskar, J. House, T. Salisbury, Offset-free model predictive controller of a heat pump, in 2014 American Control Conference, IEEE, 2014, p. 2247–2252. doi:10.1109/acc.2014.6859114. URL <http://dx.doi.org/10.1109/acc.2014.6859114>
- [12] J. Kim, Y. Zhou, S. Schiavon, P. Raftery, G. Brager, Personal comfort models: Predicting individuals' thermal preference using occupant heating and cooling behaviour and machine

- learning, Building and Environment 129 (2018) 96–106. doi:10.1016/j.buildenv.2017.12.011. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.011>
- [13] A. Afram, F. Janabi-Sharifi, A. S. Fung, K. Raahemifar, Artificial neural network (ANN) based model predictive control (MPC) and optimization of hvac systems: A state-of-the-art review and case study of a residential hvac system, Energy and Buildings 141 (2017) 96–113. doi:10.1016/j.enbuild.2017.02.012. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.012>
- [14] Y. G. Jung, K. H. Lee, B. R. Park, T. W. Kim, J. W. Moon, Development and performance evaluation of intelligent algorithm for optimal control of a hybrid heat pump system during the cooling season, Energy and Buildings 306 (2024) 113934. doi:10.1016/j.enbuild.2024.113934. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.113934>
- [15] K. Huchtemann, D. Muller, Evaluation of a field test with retrofit heat pumps, Building and Environment 53 (2012) 100–106. doi:10.1016/j.buildenv.2012.01.013. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.01.013>
- [16] O. Gustafsson, H. Hellgren, C. Haglund Stignor, M. Axell, K. Larsson, C. Teuillieres, Flat tube heat exchangers – direct and indirect noise levels in heat pump applications, Applied Thermal Engineering 66 (1–2) (2014) 104–112. doi:10.1016/j.applthermaleng.2014.02.002. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.02.002>
- [17] O. Gustafsson, C. Haglund Stignor, J.-O. Dalenback, Heat exchanger design aspects related to noise in heat pump applications, Applied Thermal Engineering 93 (2016) 742–749. doi:10.1016/j.applthermaleng.2015.10.057. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.10.057>
- [18] Gustafsson, Ola, Cedric Teuillieres, Henrik Hellgren, Monica Axell, and Jan-Olof Dalenbäck. “Reversing Air-Source Heat Pumps – Noise at Defrost Initiation and a Noise Reducing Strategy.” International Journal of Refrigeration 62 (February 2016): 137–44. URL <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.10.017>
- [19] A. Thielecke, S. Perez Brovia, J. Hubel, D. Ganzle, J. Herbst, S. Becker, Active electric machine control to reduce compressor noise in heat pumps, Applied Acoustics 213 (2023) 109601. doi:10.1016/j.apacoust.2023.109601. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109601>
- [20] Boyce, P.R. “The Application of Noise Criteria to Domestic Air-to-Water Heat Pumps.” Applied Acoustics 17, no. 1 (1984): 1–19. [https://doi.org/10.1016/0003-682x\(84\)90028-8](https://doi.org/10.1016/0003-682x(84)90028-8)
- [21] S. Cozza, J. Chambers, R. Bolliger, M. Tarantino, M. K. Patel, Decarbonizing residential buildings with heat pumps: Transferability of front-runner experiences from Swiss cantons, Energy Reports 8 (2022) 14048–14060. doi:10.1016/j.egyr.2022.09.141. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2022.09.141>

- [22] E. Langerova, J. Kralicek, M. Kucera, Air-to-water heat pump noise in residential settings: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 207 (2025) 114968. doi:10.1016/j.rser.2024.114968. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2024.114968>
- [23] Carella A, D'Orazio A. The heat pumps for better urban air quality. *Sustain Cities Soc Dec.* 2021;75:103314. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.103314>
- [24] Poblete-Cazenave M, Rao ND. Social and contextual determinants of heat pump adoption in the US: implications for subsidy policy design. *Energy Res Soc Sci* 2023;104:103255. <https://doi.org/10.1016/J.ERSS.2023.103255>.
- [25] Nowak T. European heat pump market statistics, report 2022. 2022.
- [26] Eulitz C, Mohler U, Wessolowski SO. Consideration of low-frequency noise of stationary equipments in residential areas. *Larmbekämpfung Sep.* 2017;12(5): 151–7.
- [27] Kaluza A, Rýparova M. Noise-Problem of heat pumps. *Vytapeni, Vetrani, Instalace Apr.* 2014;(2):69–71.
- [28] Torjussen M, Harvie-Clark J, Lamacraft A, Rogers P. Noise from ASHPS - what do we know? *Proceedings of the Institute of Acoustics Jan.* 2023;45:2023.
- [29] Fabris C. New noise sources in urban areas. 41st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering 2012, INTER-NOISE 2012 Jan. 2012;4: 2976–81.
- [30] L. Fredianelli, S. Carpita, G. Licitra, A procedure for deriving wind turbine noise limits by taking into account annoyance, *Science of The Total Environment* 648 (2019) 728–736. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.107. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.107>
- [31] ISO 1996-2:2017 Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of sound pressure levels, Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH (2017). URL <https://www.iso.org/standard/59766.html>
- [32] B. Berglund, P. Hassmen, R. F. S. Job, Sources and effects of low-frequency noise, *The Journal of the Acoustical Society of America* 99 (5) (1996) 2985–3002. doi:10.1121/1.414863. URL <http://dx.doi.org/10.1121/1.414863>
- [33] ISO 1996-1:2016 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise Part 1: Basic quantities and assessment procedures, Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH (2016). URL <https://www.iso.org/standard/59765.html>
- [34] B. Berglund, T. Lindvall, D. H. Schwela, New who guidelines for community noise, *Noise & Vibration Worldwide* 31 (4) (2000) 24–29. doi:10.1260/0957456001497535. URL <http://dx.doi.org/10.1260/0957456001497535>
- [35] K. H. Erdelyi, A. B. M. Fuermaier, L. Tucha, O. Tucha, J. Koerts, Low-frequency noise: Experiences from a low-frequency noise perceiving population, *International Journal of*

- Environmental Research and Public Health 20 (5) (2023) 3916. doi:10.3390/ijerph20053916. URL <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph20053916>
- [36] J. Araujo Alves, F. Neto Paiva, L. Torres Silva, P. Remoaldo, Low-frequency noise and its main effects on human health-a review of the literature between 2016 and 2019, Applied Sciences 10 (15) (2020) 5205. doi:10.3390/app10155205. URL <http://dx.doi.org/10.3390/app10155205>
- [37] K. H. Erdelyi, A. B. M. Fuermaier, L. Tucha, O. Tucha, J. Koerts, Subjective complaints and coping strategies of individuals with reported low-frequency noise perceptions, Journal of Clinical Medicine 13 (4) (2024) 935. doi:10.3390/jcm13040935. URL <http://dx.doi.org/10.3390/jcm13040935>
- [38] C.-H. Chiu, S.-C. C. Lung, N. Chen, J.-S. Hwang, M.-C. M. Tsou, Effects of low-frequency noise from wind turbines on heart rate variability in healthy individuals, Scientific Reports 11 (1) (Sep. 2021). doi:10.1038/s41598-021-97107-8. URL <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-97107-8>
- [39] L. Gaßner, E. Blumendeller, F. J. Muller, M. Wigger, A. Rettenmeier, P.W. Cheng, G. Hubner, J. Ritter, J. Pohl, Joint analysis of resident complaints, meteorological, acoustic, and ground motion data to establish a robust annoyance evaluation of wind turbine emissions, Renewable Energy 188 (2022) 1072–1093. doi:10.1016/j.renene.2022.02.081. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.081>
- [40] M. A. Alamir, K. L. Hansen, P. Catcheside, Penalties applied to wind farm noise: Current allowable limits, influencing factors, and their development, Journal of Cleaner Production 295 (2021) 126393. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126393. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126393>
- [41] J. Bengtsson, K. P. Waye, Assessments of low frequency noise complaints among the local environmental health authorities and a follow-up study 14 years later, Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control 22 (1) (2003) 9–16. doi:10.1260/026309203769018040. URL <http://dx.doi.org/10.1260/026309203769018040>
- [42] E. Blumendeller, L. Gaßner, F. J. Muller, J. Pohl, G. Hubner, J. Ritter, P. W. Cheng, Quantification of amplitude modulation of wind turbine emissions from acoustic and ground motion recordings, Acta Acustica 7 (2023) 55. doi:10.1051/aacus/2023047. URL <http://dx.doi.org/10.1051/aacus/2023047>
- [43] P. D. Nguyen, K. L. Hansen, B. Lechat, C. Hansen, P. Catcheside, B. Zajamsek, Audibility of wind farm infrasound and amplitude modulated tonal noise at long-range locations, Applied Acoustics 201 (2022) 109106. doi:10.1016/j.apacoust.2022.109106. URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.109106>
- [44] E. Pedersen, K. Persson Waye, Wind turbine noise, annoyance and selfreported health and well-being in different living environments, Occupational and Environmental Medicine 64 (7)

- (2007) 480–486. doi: 10.1136/oem.2006.031039. URL <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2006.031039>
- [45] S. Large, M. Stigwood, The noise characteristics of 'compliant' wind farms that adversely affect its neighbours, in: INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, Vol. 249, Institute of Noise Control Engineering, 2014, pp. 6269–6288.
- [46] P. D. Nguyen, K. L. Hansen, B. Lechat, B. Zajamsek, C. Hansen, P. Catcheside, Beyond traditional wind farm noise characterisation using transfer learning, JASA Express Letters 2 (5) (May 2022). doi:10.1121/10.0010494. URL <http://dx.doi.org/10.1121/10.0010494>
- [47] K. Waye, Effects of Low Frequency Noise and Vibrations: Environmental and Occupational Perspectives, Elsevier, 2011, p. 240–253. doi:10.1016/b978-0-444-52272-6.00245-2. URL <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-444-52272-6.00245-2>
- [48] T. Boczar, D. Zmarzly, M. Koziol, L. Nagi, D. Wotzka, Z. Nadolny, Measurement of infrasound components contained in the noise emitted during a working wind turbine, Energies 15 (2) (2022) 597. doi: 10.3390/en15020597. URL <http://dx.doi.org/10.3390/en15020597>
- [49] EN 12102-1:2022 Air conditioners, liquid chilling packages, heat pumps, process chillers and dehumidifiers with electrically driven compressors - Determination of the sound power level - Part 1: Air conditioners, liquid chilling packages, heat pumps for space heating and cooling, dehumidifiers and process chillers, Standard, CEN, Brussels, B (2022).
- [50] C. Fabris, Noise policy in Germany, in: Proceedings of Meetings on Acoustics, ASA, 2013, p. 040006–040006. doi:10.1121/1.4801420. URL <http://dx.doi.org/10.1121/1.4801420>

1.2. Pregled predpisov držav članic EU s področja hrupa v okolju zaradi obratovanja toplotnih črpalk

1.2.1. Avstrija

1.2.1.1. ÖNORM S 5021

Ocenjevanje hrupa toplotnih črpalk v Avstriji temelji na standardu ÖNORM S 5021 »Akustična načela za lokalno in nad lokalno prostorsko načrtovanje in organizacijo«. ÖNORM S 5021 določa načrtovalske smernice in mejne vrednosti imisij v dnevnem in nočnem času glede na različna območja in lokacije. Uporablja se za ocenjevanje hrupa pri načrtovanju.

Hrup iz sistemov za ogrevanje, prezračevanje in klimatskih sistemov ter toplotnih črpalk se obravnava kot stalen in dolgotrajen ter neprekinjen hrup. Podlaga za ocenjevanje hrupa takšnih sistemov v procesu načrtovanja je **osnovna** oziroma izhodiščna raven hrupa na lokaciji, kjer bo naprava nameščena. Skladno z ÖNORM S 5021 in tudi smernicami Wärmepumpe Austria tako velja, da imisije hrupa toplotne črpalke ne povzročajo motnje, če so imisije hrupa zaradi obratovanja toplotne črpalke ne presegajo osnovnih ravni hrupa. Če je naprava glasnejša od osnovne ravni, se lahko pričakujejo motnje, ki postanejo bolj izrazite, čim bolj je osnovna raven presežena.

Osnovna raven je določena kot raven hrupa $L_{A,95}$ oziroma 95 – percentilna A-ovrednotena raven zvočnega tlaka, ki je presežena 95 % časa merjenja. V tem smislu se osnovna raven hrupa razume kot raven hrupa v času, ko se okolica dojema kot tiha in so v akustičnem signalu prisotni le oddaljeni hrupni viri, ki ji jih iz meritev ni mogoče enostavno izločiti. Dejansko osnovno raven hrupa se lahko določi le na podlagi meritev in statistične analize ravni hrupa pri čemer mora biti čas trajanja meritve vsaj eno uro. Možni so tudi izračuni, če za to obstajajo ustrezne metode.

Če se osnovna raven hrupa določi na podlagi meritev, se pri načrtovanju uporabijo dejansko izmerjene ravni na lokaciji, kjer je predvidena inštalacija naprave. Podatki meritev pa pogosto niso na voljo. Skladno z ÖNORM S 5021 (2017) se zato prevzame, da je osnovna raven enaka ravni, ki je za 10 dB nižja od načrtovalske ravni imisije hrupa L_T .

Načrtovalske ravni imisije hrupa L_T so odvisne od območja in lokacije ter obdobja dneva, ki je razdeljen na dan, večer in noč. Območja so razdeljena na stavbna (zazidljiva) območja in zelena (travnata) območja. Zazidljiva območja se potem delijo na šest različnih podobmočij oziroma lokacij, zelena območja pa so razdeljena na tri različne lokacije kot je to prikazano v tabeli 1.2.1.1., kjer so prikazane tudi osnovne ravni hrupa v obdobju noči, ki je najbolj relevantno pri ocenjevanju hrupa toplotnih črpalk.

Tabela 1.2.1.1.: načrtovalske ravni in osnovne ravni v obdobju noči

Kategorija	Območje	Parcela	Načrtovalska raven L_r v dB(A)			Osnovna raven v obdobju noči dB(A)
			Dan	Večer	Noč	
1	Stavbno zemljišče	Območje za počitek, zdravilišče	45	40	35	25
2		Stanovanjsko območje v predmestju, območje vikend hiš, podeželsko stanovanjsko območje	50	45	40	30
3		Mestno stanovanjsko območje, območje za kmetijske in gozdarske objekte s stanovanji	55	50	45	35
4		Osrednje območje (pisarne, trgovine, maloprodaja, upravne stavbe brez večjih motečih emisij hrupa, stanovanja, bolnišnice) Območje za podjetja brez emisij hrupa	60	55	50	40
5		Območje za podjetja s trgovskimi in industrijskimi objekti za proizvodnjo blaga in storitev	65	60	55	45
6		Območje s posebej visokimi emisijami hrupa (npr. industrijska območja)	—^a	—^a	—^a	—^a
1	Zelene površine	Zdraviliško okrožje	45	40	35	25
2		Parki, lokalno rekreacijsko območje	50	45	40	30

^a Industrijska območja niso upravičena do tišine, zato niso določene priporočene vrednosti.

Načrtovalske in osnovne ravni hrupa se razlikujejo glede na del dneva (dan, večer, noč):

- dan je opredeljen kot čas med 6. in 19. uro. (traja 13 ur),
- večer kot čas med 19. in 22. uro (traja 3 ure),
- noč pa je opredeljena kot čas med 22. uro. in 6. (traja 8 ur).

Osnovne ravni v obdobju noči in načrtovalske ravni podane v tabeli 1.2.1.1. se nanašajo na **parcelne meje**. Skladno s to tabelo je na primer pri postavitvi toplotne črpalke, ki so bo nahajala v mestnem stanovanjskem območju (Stavbno zemljišče, kategorija 3), potrebno upoštevati, da se na parcelni meji v fazi načrtovanja ne sme preseči raven 35 dB(A) v obdobju noči.

Pri vrednotenju imisij hrupa zaradi toplotne črpalke je potrebno oceniti raven imisij L_r . Imisije hrupa je potrebno oceniti v dnevnem, večernem in nočnem času, pri čemer se upoštevajo povprečne urne vrednosti. Ocenjena raven L_r se določi na podlagi meritev ali izračunov kot:

$$L_r = L_{Aeq} + 10 \log \left(\frac{T}{T_{Bez}} \right) + L_z$$

kjer je:

- L_{Aeq} je A-vrednotena energijsko ekvivalentna raven hrupa zaradi obratovanja vira hrupa na mestu ocenjevanja,
- L_z je popravek zaradi vrste vira in znaša +5 dB za naprave (vključno s toplotnimi črpalkami),
- T je čas obratovanja vira hrupa znotraj referenčnega časa T_{Bez} v urah,
- T_{Bez} je referenčni čas oziroma čas povprečenja v urah. Čas povprečenja je enak 13 ur v dnevnem času, 3 ure v večernem času, v nočnem času med 22:00 in 06:00 uro zjutraj pa se upošteva najglasnejša ura.

Če raven imisije L_r toplotne črpalke presega osnovno raven na mestu ocenjevanja (parcelni meji), potem so potrebni ukrepi za zmanjšanje emisij hrupa.

1.2.1.2. Smernica Informativni zvezek o varovanju okolja pred hrupom zaradi toplotnih črpalk zrak-voda

V Avstriji poznajo še številne druge smernice in priporočila strokovnjakov. Eno izmed teh je Informativni zvezek o varovanju okolja pred hrupom zaradi toplotnih črpalk na zrak (Informationsblatt zum lärmschutz im nachbarschaftsbereich von luftwärmepumpen, Forum Schall, 2013)

Dokument je izdelal skupina strokovnjakov ob podpori avstrijske Zvezne agencije za okolje, saj so emisije hrupa toplotnih črpalk zrak – voda pogosto vzrok za pritožbe s strani prizadetih stanovalcev. Običajno so toplotne črpalke nameščene na prostem in emitirajo nizkofrekvenčni hrup, ki velja za zelo motečega.

Dokument je priročnik o hrupu toplotnih črpalk in podaja osnovne informacije o imisijskih ravneh hrupa v okolju, ki so pomembne pri ocenjevanju hrupa toplotnih črpalk ter predstavi osnovne ukrepe varstva pred hrupom zaradi toplotnih črpalk.

Pri ocenjevanju hrupa v okolju se priporoča uporaba osnovnih ravni hrupa v okolju. Na podlagi izkušenj strokovnjakov se pri tem ocenjuje, da je osnovna raven hrupa v mirnih stanovanjskih območjih ponoči (od 22.00 do 6.00) med 20 in 25 dB. Da bi se izognili motnjam zaradi nizkofrekvenčnega hrupa toplotnih črpalk zrak – voda je torej potrebno omejiti raven imisije hrupa zaradi toplotnih črpalk **pred izpostavljenim objektom** na največ 25 dB. Višje ravni pa so upravičene le, če meritve pokažejo, da je osnovna raven dejansko bistveno višja.

Na parcelni meji se raven hrupa zaradi obratovanja toplotne črpalke lahko določi s pomočjo načrtovalskih smernic ÖNORM S 5021 glede na rabo zemljišča. Za stanovanjska območja v predmestjih, na podeželju ali na območjih kjer se nahajajo vikendi (Stavbno zemljišče, 2. kategorija)

je potrebno upoštevati osnovno raven hrupa ozadja, ki znaša 30 dBA. Navedena vrednost 30 dBA se nanaša na mesto ocenjevanja, ki je na parcelni meji. Tudi tukaj je mogoče višje ravni utemeljiti le z merjenjem dejanskega stanja hrupa.

Da bi izpolnili ciljno vrednost $L_r = 25$ dB v nočnem času neposredno pred varovanimi prostori, toplotne črpalke večinoma ni mogoče namestiti na parcelno mejo in je določena razdalja do sosednje parcele nujna.

1.2.1.3. Regulacija hrupa toplotnih črpalk na nivoju zveznih dežel in pogoji za subvencije

Hrup toplotnih črpalk je reguliran še na nivoju zveznih dežel in je en izmed pogojev, ki se upošteva pri pridobivanju subvencij.

V tabeli 1.2.1.3 so podane ravni imisij hrupa $L_{r,zul}$ za obratovanja toplotnih črpalk po posameznih zveznih deželah, ki jih je potrebno upoštevati v fazi načrtovanja. Imisijske ravni so večinoma izpeljane iz osnovnih ravni iz ÖNORM S 5021 (2017) za stanovanjska območja na podeželju. Ravni, ki so navedene izven oklepajev se nanašajo na mesto ocenjevanja na parcelni meji. V oklepajih so prikazane osnovne ravni, ki jih je potrebno upoštevati, če se mesto ocenjevanja nahaja pred izpostavljenim objektom oziroma na oknu izpostavljenega stanovanjskega objekta ali pa na razdalji 3 m od parcelne meje.

Tabela 1.2.1.3.: ravni imisij hrupa $L_{r,zul}$ za obratovanja toplotnih črpalk po posameznih zveznih deželah

Zvezna dežela	Dan $L_{r,zul}$ (dB(A))	Večer $L_{r,zul}$ (dB(A))	Noč $L_{r,zul}$ (dB(A))
Tirolska – Stanovanjsko območje	40	35	30
Tirolska – Mešano območje in turistične nastanitve	45	40	35
Tirolska – Osrednje območje	50	45	40
Salzburg	40	35	30
Koroška	40 (35)	35 (30)	30 (25)
Vorarlberg	40 (35)	35 (30)	30 (25)
Zgornja Avstrija	40	35	30
Dunaj	30 dB(A) na razdalji 1 m od naprave	30 dB(A) na razdalji 1 m od naprave	30 dB(A) na razdalji 1 m od naprave
Štajerska			30 (25)
Gradiščanska (Burgenland)			(25)
Priporočilo Okoljske agencije			(25)

Tirolska je edina zvezna dežela z mejnimi vrednostmi emisij hrupa, ki imajo neposredno pravno veljavo. V večini zveznih dežel je skladnost z mejnimi vrednostmi emisij hrupa potrebna za pridobitev

sofinanciranja. Na Tirolskem je v veljavi predpis Popolna pravna ureditev za odlok o plinu, ogrevanju in klimatizaciji 2024, tirolska različica z dne 28. 1. 2025 (Gesamte Rechtsvorschrift für Gas-, Heizungs- und Klimaanlageverordnung 2024, Tiroler, Fassung vom 28.01.2025).

Predpis zahteva, da morajo biti ogrevalni in klimatski sistemi nameščeni in upravljani tako, da se prepreči nerazumno obremenitev sosedov s hrupom. Za nerazumno motenje s hrupom gre, če popravljena A-vrednotena raven zvočnega tlaka neprekinjenega hrupa zaradi toplotne črpalke na meji nepremičnine na prostem presega osnovne ravni, ki so podane v tabeli 1.2.1.3.

Na mirnih lokacijah (npr. na notranjih dvoriščih, na parcelnih mejah, ki so oddaljene od hrupa in prometa, na tihih delih stavb) je potrebno uporabiti vrednosti za stanovanjska območja. Osnovne ravni na teh lokacijah se sicer lahko glede na stanje tehnike lahko presežejo, če se osnovna raven na parcelni meji, ne poveča za več kot 3 dB, saj se je kot je zapisano v smernici OAL št. 3 vrednost 3 dB izkazala za medicinsko sprejemljivo za postopno povečevanje na območjih z nizko obstoječo izpostavljenostjo. Osnovne ravni na parcelni meji so lahko presežene, če gre za sosednje površine ki zaradi namenske rabe niso namenjene daljšemu zadrževanju ljudi. To so na primer parkirišča, nadstreški, dovozi, skladišča, odprti bazeni in podobno ter na primer na fasadah stavb ali delov stavb, ki ne služijo bivanju. Na Tirolskem se upošteva tudi nizkofrekvenčni hrup in sicer C-vrednotena raven zvočnega tlaka lahko presega osnovne ravni za največ 20 dB.

1.2.1.4. Smernica ÖAL št. 6

V Avstriji je imisije hrupa potrebno ocenjevati tudi na podlagi individualne medicinske ocene pristojnega organa. V skladu s smernico ÖAL št. 3 (Smernica ÖAL št. 3 (Avstrijska delovna skupina za zmanjšanje hrupa, 2008)) se medicinski strokovnjaki zadnji odločijo, ali so tveganja za zdravje ljudi pričakovana ali ne. Pri tem so strokovnjakom na voljo smernice OAL št. 6 (Avstrijska delovna skupina za zmanjšanje hrupa, 2011 ÖAL Guideline No. 6 (Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, 2011)).

ÖAL št. 6 je smernica, ki je na voljo strokovnjakom s področja medicine kot pomoč pri izdelavi ocene obremenitve s hrupom z medicinskega vidika. Povezava med imisijami hrupa in učinkom na ljudi je povzeta po "Evropskih smernicah za nočni hrup" Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) iz leta 2009. Opis učinkov hrupa na zdravje ločeno upošteva hrup v okolju in zunanji hrup. Večina podatkov pa temelji upoštevanju prometa kot vira hrupa.

Skladno z ÖAL št. 6 je učinek hrupa v okolju v nočnem času odvisen od povprečnih dolgotrajnih ravni hrupa v nočnem času in sicer kot:

- pri ravneh hrupa do 30 dB(A) ni prepoznavnih učinkov;
- med 30 dB(A) in 42 dB(A): Opaženi so učinki, kot so povečano gibanje telesa, motnje spanja in motnje ritma EEG. Ni mogoče prevzeti, da so prizadete samo občutljive skupine. Vendar pa je pojav teh učinkov močno odvisen od značilnosti hrupa in pogostosti pojavljanja;

- med 42 do 55 dB(A) se pojavi močno povečanje negativnih učinkov na zdravje kot tudi povečane reakcije prebujanja. Velik del človeške populacije si mora drugače urediti življenje, da bi lahko obvladal hrup. Občutljive skupine so pri tej stopnji zvočne imisije močno prizadete;
- nad 55 dB(A): Situacija je nevarna za zdravje prebivalstva in povečuje se tveganje za srčno-žilne bolezni.

V notranjem okolja se učinki hrupa ocenjujejo na podlagi maksimalnih ravni hrupa v dB(A) kot:

- do 35 dB(A): opaženi so učinki, kot so povečano gibanje telesa, motnje spanja in ritma EEG;
- 35 do 42 dB(A): Opaziti je mogoče podaljšan čas za uspavanje, pogoste reakcije prebujanja in krajši čas spanja.

Viri:

- [1] ÖNORM S 5021
- [2] ÖAL Smernica št. 3 ("ÖAL-Richtlinie Nr. 3"): Ocenjevanje imisij hrupa v okolici (Avstrijska delovna skupina za zmanjšanje hrupa, 2008)
- [3] Informativni zvezek o varovanju okolja pred hrupom zaradi toplotnih črpalk na zrak ("Informationsblatt zum lärmschutz im nachbarschaftsbereich von luftwärmepumpen, Forum Schall, 2013")
- [4] ÖAL Smernica št. 6 ("ÖAL-Richtlinie Nr. 6"): Učinki hrupa na človeka. Pripomoček za ocenjevanje za zdravnike. (Avstrijska delovna skupina za zmanjšanje hrupa, 2011)
- [5] Ocenjevanje hrupa v okolju toplotnih črpalk na podlagi izračuna "Wärmepumpe Austria" (Wärmepumpe Austria, 2018). <https://www.waermepumpe-austria.at/schallrechner>
- [6] Popolna pravna ureditev za odlok o plinu, ogrevanju in klimatizaciji 2024, tirolska različica z dne 28. 1. 2025 (Gesamte Rechtsvorschrift für Gas-, Heizungs- und Klimaanlageverordnung 2024, Tiroler, Fassung vom 28.01.2025). <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrT&Gesetzesnummer=20000990>
- [7] Final Report – Part 4 Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps 1.2: Regulations – Countries overview (<https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-part-4-annex-51-acoustic-signatures-of-heat-pumps/>)

1.2.2. Danska:

Toplotne črpalke morajo izpolnjevati enako okoljsko zakonodajo kot podjetja. Občina ima pristojnost, da določi mejno vrednost hrupa, ki je toplotna črpalka ne sme presegati pri izpostavljenem objektu (sosedu). Običajno pa se uporabijo mejne vrednosti, ki jih priporoča danska Agencije za varstvo okolja. Priporočene mejne vrednosti hrupa so navedene v smernicah Agencije za varstvo okolja »Zunanji hrup podjetij« (št. 5/1984).

Priporočene mejne vrednosti hrupa se uporabljajo tudi v sklopu presoje okoljevarstvenih dovoljenj ali pri izreku prepovedi obratovanja v zvezi s hrupom. Uporabljajo pa se tudi za prostorsko načrtovanje. Priporočene mejne ravni se razlikujejo glede na dan, večer in noč in glede na območje, kjer se hrup ocenjuje. V primeru toplotnih črpalk so najbolj relevantne mejne ravni v nočnem času.

Mejne ravni za različna območja in dele dneva so podana v Smernicah Agencije za varstvo okolja št. 5/1984. V večini primerov, kjer so nameščene toplotne črpalke, velja ena od mejnih ravni iz tabele 1.2.2.1.

Tabela 1.2.2.1.: priporočene mejne ravni hrupa toplotnih črpalk za različna območja in dele dneva

Obdobje dneva	Območje počitniških hiš, območja za rekreacijo	Območje stanovanj, nizke hiše	Stanovanjska območja z večnadstropnimi objekti	Mešana območja namenjena stanovanjski rabi in komercialnim dejavnostim, središča mest
Pon - Pet 07-18 Sobote 07-14	40	45	50	55
Pon - Pet 18-22 Sobote 14-22 Nedelje in prazniki 07-22	35	40	45	45
Vsi dnevi 22 - 07	35	35	40	40

Mejna raven se nanaša na katerokoli lokacijo na sosednji parceli. Pogosto je mesto ocenjevanja najbolj obremenjena točka na parcelni meji, lahko pa se zgodi, da so bolj obremenjena višje ležeča mesta, kot je na primer okno v prvem nadstropju. Za enodružinska stanovanja na prostem (npr. kmetijska zemljišča) velja omejitev hrupa samo v bližini stanovanja (do 15 metrov od stanovanja).

Če se vir hrupa in izpostavljen prostor nahajata v isti stavbi, potem se mejne ravni nanašajo na mesto ocenjevanja, ki se nahaja znotraj prostora. Mejne ravni so 30 dB(A) v dnevnem in večernem času med 07.00 in 22.00 ter 25 dB(A) v nočnem času med 22.00 in 07.00.

Mejne ravni hrupa se nanašajo na popravljene A - vrednotene ekvivalentne ravni hrupa. Če ima hrup jasno poudarjene tone ali izrazite impulze, se ekvivalentni ravni hrupa prišteje popravek 5 dB.

V posebnih primerih je hrup kompresorja tako prevladujoč, da se hrup zaznava kot "nizkofrekvenčni hrup". Danska agencija za varstvo okolja priporoča zato posebna merila za ocenjevanje nizkofrekvenčnega hrupa.

Viri:

- [1] The Danish Environmental Protection Agency, Recommended noise limits. , »Zunanji hrup podjetij« (št. 5/1984). <https://eng.mst.dk/industry/noise/recommended-noise-limits>

- [2] Final Report – Part 13 Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps, 7.1: Educational material, guides & guidelines. <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-part-13-annex-51-acoustic-signatures-of-heat-pumps/>

1.2.3. Francija

Hrup v okolju je obravnavan v sklopu Kodeksa javnega zdravja. Toplotne črpalke v lasti fizičnih oseb spadajo v kategorijo »Zvok naprav, ki so v lasti oseb, ki se ne uporabljajo v profesionalne namene« za katere veljajo Določbe, ki veljajo za hrup v soseski (členi R1336-4 do R1336-13).

Motnja zaradi hrupa naprav (toplotnih črpalk) se določi na podlagi pojavnosti (»l'émergence«), ki je definirana kot razlika med ravno zvočnega tlaka, izmerjenega, ko naprava ne obratuje, in ravno, izmerjeno, ko naprava obratuje. Meritve obeh obratovalnih stanj se izvedejo na isti lokaciji.

Dovoljena oziroma mejna vrednost pojavnosti je različna za nočni in dnevni čas:

- v dnevnem času med 07:00 in 22:00 je največja dovoljena pojavnosti (razlika med ravno hrupa ko črpalka obratuje in, ko ne obratuje) 5 dBA;
- v nočnem času med 22:00 in 07:00 je največja dovoljena pojavnosti (razlika med ravno hrupa ko črpalka obratuje in, ko ne obratuje) 3 dBA.

Mesto ocenjevanja se nanaša na parcelno mejo ali pa v znotraj bivalnih prostorov.

Mejne ravni pojavnosti se nanašajo na A-vrednotene popravljene ravni hrupa. Pri ocenjevanju se tako upošteva še korekcijski člen v dB(A), ki je odvisen od časa obratovanja toplotne črpalke. Korekcijski člen se doda dovoljeni mejni vrednosti pojavnosti. Korekcijski člen v dB(A) je funkcija časa obratovanja naprave. Dovoljeni hrup oziroma dovoljena pojavnost je višja, če je hrup kratkotrajen.

Če hrup traja:

- minuto ali manj se uporablja korekcija +6 dB(A);
- od 1 minute do vključno 5 minut se uporablja korekcija +5 dB(A);
- med 5 minutami do 20 minut se uporablja korekcija +4 dB(A);
- med 20 minutami do 2 ur se uporablja korekcija +3 dB(A);
- med 2 urama do vključno 4 ur se uporablja korekcija +2 dB(A);
- med 4 urami do vključno 8 ur se uporablja korekcija +1 dB(A);
- več kot 8 ur se uporablja korekcija +0 dB(A).

Zakonodaja predvideva tudi upoštevanje popravka zaradi frekvenčne vsebine. Upošteva se pojavnost poudarjenih tonov (razlika med ravno zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu izmerjenega v času obratovanja vira in ko je vir ugasnjen):

- +7 dBA za 125 Hz in 250 Hz,
- +5 dBA za 500 do 4000 Hz.

Viri:

- [1] Final Report – Part 13 Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps, 7.1: Educational material, guides & guidelines. <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-part-13-annex-51-acoustic-signatures-of-heat-pumps/>
- [2] Final Report – Part 4 Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps 1.2: Regulations – Countries overview. <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-part-4-annex-51-acoustic-signatures-of-heat-pumps/>
- [3] <https://www.legifrance.gouv.fr/codes/id/LEGISCTA000035425901>
- [4] <https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F612>

1.2.4. Irska

Hrup v okolju zaradi toplotnih črpalk (in vetrnih turbin) na Irskem obravnava zakonski akt S.I. No. 83 of 2007. Irska zakonodaja omejuje imisije hrupa toplotnih črpalk kot:

- Raven zvočnega tlaka pri obratovanju toplotne črpalke ne sme presegati 43 dBA ali biti več kot 5 dBA nad ravnjo hrupa ozadja.

Mejne ravni pojavnosti se nanašajo na A-vrednotene ravni hrupa. Mesto ocenjevanja se nanaša na mesto pred najbližjim naseljenim stanovanjskim objektom.

Zakonodaja postavlja tudi nekatere zahteve glede postavitve črpalk:

1. Pri inštalaciji toplotne črpalke se kota (nivo) tal ne sme spremeniti za več kot 1 meter v višino ali globino.
2. Skupna površina, ki jo zasede toplotna črpalka, vključno s katero koli drugo predhodno postavljeno toplotno črpalko, ne sme presegati 2,5 kvadratnega metra.
3. Toplotna črpalka mora biti najmanj 50 cm oddaljena od fasade ali strehe, na katero je nameščena.
4. Toplotna črpalka ne sme biti postavljena na sprednjo stran fasade ali sprednji del strehe hiše.
5. Raven zvočnega tlaka pri normalnem obratovanju toplotne črpalke ne sme preseči 43 dBA ali biti več kot 5 dBA nad ravnjo hrupa ozadja pred najbližjim naseljenim stanovanjskim objektom.

Viri:

- [1] <https://www.irishstatutebook.ie/eli/2007/si/83/made/en/print>

1.2.5. Švedska

Švedska Agencije za varstvo okolja za industrijski hrup (kamor spadajo tudi toplotne črpalke) priporoča naslednje ravni hrupa:

- v dnevnem času med 06:00 in 18:00 je največja priporočena raven hrupa 50 dB(A);
- v večernem času med 18:00 in 2:00 je največja priporočena raven hrupa 45 dB(A);
- v nočnem času med 22:00 in 06:00 je največja priporočena raven hrupa 40 dB(A).

Mesto ocenjevanja je definirano kot soseščina. Priporočene ravni se nanašajo na popravljene A- vrednotene ekvivalentne ravni hrupa L_{Aeq} v dB(A). V primeru, da hrup vsebuje poudarjene tone ali izrazite impulze se mejne ravni znižajo za 5 dB.

Viri:

- [1] Noise from industry <https://www.naturvardsverket.se/en/guidance/noise/noise-from-industry/>
- [2] Final Report – Part 4 Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps 1.2: Regulations – Countries overview <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-part-4-annex-51-acoustic-signatures-of-heat-pumps/>

1.2.6. Nizozemska

Od 1. aprila 2021 se hrup toplotnih črpalk obravnava v sklopu zakonodaje, ki hrup toplotnih črpalk omejuje kot:

- med 19:00 in 07:00 je raven hrupa zaradi obratovanja toplotne črpalke $L_{i,b}$ omejena na 40 dBA;
- med 07:00 in 19:00 je raven hrupa zaradi obratovanja toplotne črpalke $L_{i,b}$ omejena na 45 dBA.

Mejne ravni hrupa $L_{i,b}$ se nanašajo na mesto ocenjevanja, ki se nahaja v primeru hiš:

- na parcelni meji na višini 1.5 m od tal;
- če je na parcelni meji bariera, potem se mesto ocenjevanja nahaja na višini 0.5 nad bariero. Od izmerjene vrednosti se odšteje popravek zaradi prisotnosti bariere K_{sch} , ki znaša 5 dB ($K_{sch} = -5$ dB). Popravek se lahko upošteva le, če se ob prisotnosti bariere lahko doseže, da niso presežene mejne vrednosti na fasadi najbolj izpostavljene sosednje hiše, pri čemer se relevantno mesto ocenjevanja nanaša na fasadi pred oknom ali vrati. V preostalih primerih je popravek zaradi bariere $K_{sch} = 0$ dB. Pri upoštevanju učinka bariere se upošteva tudi njena dolžina. Postavljene so tudi zahteve za bariero in sicer:
 - o višina bariere znaša minimalno $h_{min} = 1.8$ m,
 - o bariera je brez odprtín,
 - o površinska masa $m' = \rho \times d$ bariere je vsaj 10 kg/m^2 ,

- bariera mora biti registrirana v gradbenem in uporabnem dovoljenju za hišo, s čimer se zagotovi, da bo stalno nameščena.
- če TČ ni nameščena na tleh, ampak se nahaja npr. na fasadi, na višini prvega nadstropja ali pa na strehi potem se višina merilnega mesta se potem izbere na višini 1.5 m nad koto, ki jo določa spodnji rob TČ. Razen, če se na tej višini ne nahaja mesto ocenjevanja, oziroma je to nižje ker gre za enonadstropno stavbo.

V primeru večstanovanjskih objektov je mesto ocenjevanja:

- pred deli fasade z izpostavljenimi prostori, ki se lahko odprejo (okna, vrata);
- pred okni ali vrati sosednjega balkona.

Mejna raven $L_{i,b}$ se določi na podlagi enačbe:

$$L_{i,b} = L_i + K_1 + K_{\text{dag}} + K_{\text{sch}} - C_g$$

kjer je:

- L_i imisijska raven za i-to obratovalno stanje. Določi se kot A-vrednotena ekvivalentna raven hrupa, pri čemer je čas meritve enak 1 minuta ($L_i = L_{\text{Aeq},1\text{min}}$).
- K_1 je popravek zaradi poudarjenih tonov, ki se določi na podlagi metode ISO PAS 20065:2016 in znaša med 0 in 6 dB. Gre za metodo, ki jo predvideva tudi ISO 1996-2:2017 v aneksu J, tabela J.1.
- K_{dag} je popravek zaradi obdobja ocenjevanja. K_{dag} v obdobju dneva je $K_{\text{dag}} = -5$ dB, v nočnem obdobju je $K_{\text{dag}} = 0$ dB.
- K_{sch} je popravek zaradi bariere in znaša -5 dB
- C_g je popravek v vrednosti -5 dB, ki se uporablja, če se meritev izvede na fasadi.

Viri:

- [1] Beentjes, W. and Campmans, T., 2021, August. Dutch building code regulates noise limits for outside placed heat pumps. In INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (Vol. 263, No. 5, pp. 1703-1711). Institute of Noise Control Engineering.
- [2] Meetmethode geluid van buiten opgestelde installaties voor warmte- of koudeopwekking <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/09/23/meetmethode-geluid-van-buiten-opgestelde-installaties-voor-warmte--of-koudeopwekking>

1.2.7. Nemčija

Emisije in imisije hrupa v Nemčiji nadzorujejo skladno s Tehničnimi navodili za zmanjšanje hrupa - TA Lärm, 26. avgust 1998, uradni list št. 26/1998, str. 50. Uporabljajo se za naprave za katere je potrebno pridobiti dovoljenje in naprave za katere ni potrebno pridobiti dovoljenja.

Skladno s TA Lärm mora upravljavec naprave napravo uporabljati in vgraditi tako, da ne povzroča škodljivih vplivov na okolje. Če tega glede na stanje tehnike ni mogoče doseči, je potrebno poskrbeti, da so škodljivi vplivi na okolje čim manjši. To pomeni, da priporočene imisijske vrednosti hrupa iz smernice TA Lärm ne smejo biti presežene.

TA Lärm določa priporočene imisijske ravni hrupa L_r za različna območja in obdobja ocenjevanja, ki jih je potrebno upoštevati na mestu ocenjevanja. Ravni hrupa L_r pred izpostavljenimi stavbami so podane v tabeli 1.2.7.1.

Tabela 1.2.7.1: imisijske ravni hrupa L_r za različna območja in obdobja ocenjevanja

Območje / Cona	Obdobje	L_r
a) industrijska območja		70 dB(A)
b) območja, kjer se izvajajo komercialne dejavnosti	Dan	65 dB(A)
	Noč	50 dB(A)
c) urbana območja	Dan	63 dB(A)
	Noč	45 dB(A)
d) centralna območja, vaška območja, mešana območja	Dan	60 dB(A)
	Noč	45 dB(A)
e) v stanovanjskih naseljih in območjih manjših stanovanjskih posesti	Dan	55 dB(A)
	Noč	40 dB(A)
f) stanovanjske površine	Dan	50 dB(A)
	Noč	35 dB(A)
g) območja zdravilišč, bolnišnic, domov za oskrbo	Dan	45 dB(A)
	Noč	35 dB(A)

Mesto ocenjevanja:

- je mesto znotraj vplivnega območja naprave, kjer je največja verjetnost, da bodo priporočene imisijske vrednosti presežene;
- za območja, kjer se nahajajo stanovanjski objekti se mesto ocenjevanja nahaja na razdalji 0.5 m pred oknom varovanega prostora oziroma prostora, ki ga je potrebno obravnavati v sklopu zaščite pred hrupom po DIN 4109 (npr. dnevne sobe, jedilnica, spalnice in prostori, kjer se ljudje zadržujejo, posteljne sobe v bolnišnicah, zdraviliščih, učilnice, pisarne, sejne sobe in delovni prostori.);
- pri nepozidanih območjih, ki ne vsebujejo stavb s prostori, ki zahtevajo zaščito pred hrupom, se mesto ocenjevanja nahaja na najbolj prizadetem robu območja, kjer se v skladu z gradbeno

- in načrtovalsko zakonodajo lahko gradijo stavbe s prostori, ki zahtevajo zaščito (običajno se izbere najbolj izpostavljena lokacija na razdalji 3 m od roba parcele na višini 4 m od tal);
- če se vir hrupa nahaja znotraj stavbe se mesto ocenjevanja nahaja pred najbolj izpostavljenim varovanim prostorom druge namembnosti oziroma prostorom, ki ga je potrebno obravnavati v skladu z DIN 4109.

Obdobje dan je obdobje dneva med 06:00 in 22:00. Obdobje noči je obdobje noči med 22:00 in 06:00.

Imisijske ravni hrupa se določijo kot ocenjene ravni hrupa L_r (rating level) na podlagi ekvivalentne ravni hrupa L_{eq} in z upoštevanjem popravkov zaradi poudarjenih tonov, izrazitih impulzov ter delov dneva v katerih je pričakovana večja občutljivost na hrup. Ocenjena raven je tudi raven na katero se nanašajo zavezujoče emisijske vrednosti.

Ocenjene ravni hrupa L_r se določijo skladno z DIN 45645-1 in smernico TA Lärm (Priloga, točka A.1.4), kot:

$$L_r = 10 \log \left[\frac{1}{T_r} \sum_{j=1}^N T_j \cdot 10^{0,1(L_{Aeq,j} - C_{Met} + K_{T,j} + K_{I,j} + K_{R,j})} \right]$$

kjer je:

- L_r ocenjena oziroma popravljena raven hrupa,
- T_r je referenčni časovni interval, ki je znaša 16 ur v obdobju dneva in 1 uro v obdobju noči. Pri ocenjevanju hrupa v nočnem času se upošteva ura, ko je hrup zaradi obratovanja vira največji,
- T_j je čas trajanja obratovalnega pogoja j ,
- N je število obratovalnih pogojev,
- $L_{Aeq,j}$ A-vrednotena ekvivalentna kontinuirana raven zvočnega tlaka tekom T_j ,
- C_{Met} je popravek zaradi meteoroloških pogojev ki je določen skladno z enačbo št. 6 standarda DIN ISO 9613-2, osnutek September 1997,
- $K_{T,j}$ je popravek zaradi poudarjenih tonov v obdobju T_j . Ob prisotnosti poudarjenih tonov znaša popravek 3 dB ali 6 dB kar je odvisno od razločnosti tona. Popravek se določi tudi s pomočjo analize skladno s DIN 45681, Draft maj 1992,
- $K_{I,j}$ je popravek zaradi izrazitih impulzov v obdobju T_j . Če so v signalu prisotni impulzi, potem se popravek zaradi izrazitih impulzov določi kot: $K_{I,j} = L_{AFTeq,j} - L_{Aeq,j}$, kjer je $L_{AFTeq,j}$ je maksimalna ekvivalentna raven hrupa znotraj časovne periode 5 min,
- $K_{R,j}$ je popravek zaradi obdobja dneva v katerem se predvideva povečana občutljivost na hrup v obdobju T_j . Dodatno so določene ure dneva v katerih se predpostavi, da je občutljivost na hrup povečana. To so:
 - o delovni dnevi med 6:00 - 07:00 in med 20:00 – 22:00;
 - o nedelje in prazniki med 06:00 in 09:00, med 13:00 in 15:00 ter med 20:00 in 22:00.

V teh obdobjih je potrebno upoštevati popravek 6 dB.

L_r se izračuna ločeno za obdobje dneva ali noči. V nočnem obdobju se kot osnova za oceno ravni L_r uporabi ura v kateri ekvivalentna raven hrupa doseže maksimalno vrednost.

Za hrup, ki se prenaša znotraj stavb po zraku ali po strukturi in izvira iz naprave v tej stavbi se mesto ocenjevanja nahaja v prostoru znotraj stavbe, ki ni del naprave. Zavezujoče imisijske ravni hrupa za prostore, ki zahtevajo zaščito pred hrupom skladno z DIN 4109 znašajo:

- 35 dBA v obdobju dneva in
- 25 dBA v obdobju noči.

Posamezni kratkotrajni dogodki oziroma konice hrupa lahko presežejo zavezujoče imisijske ravni za največ 10 dBA.

Za nizkofrekvenčni hrup (v frekvenčnem območju pod 90 Hz) veljajo ločeni predpisi skladno s poglavjem 7.3 smernice TA Lärm. Škodljivi vplivi lahko nastanejo predvsem, če pri jasno zaznavnem nizkofrekvenčnem hrupu v prostoru razlika med ravnmi $L_{Ceq} - L_{Aeq}$ znaša več kot 20 dB. Če je pričakovati škodljive vplive na okolje zaradi nizkofrekvenčnega hrupa v skladu z DIN 45680, je treba upoštevati ustrezne ukrepe za nadzor hrupa.

Viri:

- [1] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm). https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwwbund_26081998_IG19980826.htm
- [2] Ermittlung der Geräuschimmissionen. <https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/BMU-IG-19980826-KF01-A001.htm>
- [3] Technical Instructions on Noise Abatement - TA Lärm. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/dokumente/talaerm_en.pdf
- [4] Final Report – Part 4 Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps 1.2: Regulations – Countries overview. <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-part-4-annex-51-acoustic-signatures-of-heat-pumps/>

1.3. Pregled predpisov držav izven EU s področja hrupa v okolju zaradi obratovanja toplotnih črpalk

1.3.1. Švica

Toplotne črpalke imajo v Švici dolgo tradicijo, kjer prevladujejo črpalke tipa zrak-voda. Eden največjih izzivov pri namestitvi teh naprav so imisije hrupa (Biermayer et al., 2016).

V Švici je hrup v okolju zaradi obratovanja toplotnih črpalk obravnavan v sklopu 11. in 12. člena Zveznega zakona o varstvu okolja (Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (USG; SR 814.01)). 11. člen govori o previdnostnih načelih, 12. člen pa določa dovoljeno emisijo hrupa.

Previdnostno načelo v 11. členu USG pravi, da se ne glede na obstoječo onesnaženost okolja, če je to ekonomsko sprejemljivo, preventivno omejijo emisije, kolikor to dopuščajo tehnologija in pogoji obratovanja. 11. člen se v smernicah Cercle Bruit (Cercle Bruit) dodatno interpretira kot: Načelo previdnosti je popolnoma neodvisno od omejitev imisij hrupa in ga je potrebno upoštevati v vsakem primeru. Novo vgrajene toplotne črpalke izpolnjujejo to načelo, če imisije hrupa teh toplotnih črpalk izpolnjujejo vrednosti, ki ustrezajo trenutnemu stanju tehnike in če je njihova lokacija pravilno izbrana. Hrup in vibracije toplotnih črpalk se v prvi vrsti omejijo z ukrepi pri njihovem izvoru (omejitev emisij). Emisije so strožje omejene, če se ugotovi ali se pričakuje, da bodo učinki škodljivi ali moteči, ob upoštevanju obstoječe stopnje onesnaženosti okolja (USG).

V primeru novih toplotnih črpalk zrak-voda, ki se uporabljajo za ogrevanje prostorov ali za ogrevanje pitne vode in katerih emisije hrupa ne presegajo načrtovalskih vrednosti, se nadaljnji ukrepi za omejevanje emisij sprejmejo samo, če je mogoče omejitev emisij za najmanj 3 dB doseči z največ enim odstotkom naložbe.

Hrup v okolju normativno ureja Uredba o varstvu pred hrupom LSV, 1986 (Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV), https://www.fedlex.admin.ch/eli/oc/1987/338_338_338/de). Uredba določa mejne vrednosti in opisuje postopke s katerimi se določajo ravni hrupa v okolju. Deli Uredbe se nanašajo tudi na hrup toplotnih črpalk.

Skladno s 7. členom uredbe se emisije hrupa iz novih nepremičnih naprav omejijo po navodilih pristojnih organov, če je to tehnično in operativno izvedljivo ter ekonomsko sprejemljivo in, če raven izpostavljenosti hrupu, zaradi obratovanja naprave, ne presega načrtovalskih (*planungswert*) ravni hrupa. Pristojni organi lahko omilijo zahteve v primerih, ko bi skladnost z načrtovalskimi vrednostmi nesorazmerno obremenila obrat ali, ko prevladuje javni interes, zlasti glede vprašanj prostorskega načrtovanja. Vendar pa mejne (*immissionsgrenzwert*) ravni pri tem ne smejo biti presežene.

Uredba LSV v Prilogi št. 6. določa mejne vrednosti izpostavljenosti industrijskemu in komercialnemu hrupu, ki vključuje hrup toplotnih črpalk. V isti prilogi je opisana tudi metoda za določanje ocenjene ravni hrupa.

Mejne vrednosti izpostavljenosti so določene glede na stopnjo občutljivosti območja. Pri tem uredba loči načrtovalske vrednosti (*planungswert*), mejne vrednosti (*immissionsgrenzwert*) in alarmne vrednosti (*alarmwert*). Vse mejne vrednosti so podane kot ocenjene ravni hrupa L_r v enotah dB(A). V splošnem raven hrupa L_r , ki jo povzroča toplotna črpalka ne sme presegati načrtovalne vrednosti v skladu s prilogo 6 LSV. Načrtovalske, mejne in alarmne vrednosti za različna območja so prikazana v tabeli 1.3.1.1.

Tabela 1.3.1.1.: načrtovalske, mejne in alarmne vrednosti izpostavljenosti:

Območje	Načrtovalske vrednosti L_r v dB(A)		Mejne vrednosti L_r v dB(A)		Alarmne vrednosti L_r v dB(A)	
	Dan	Noč	Dan	Noč	Dan	Noč
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

Ravni hrupa L_r se nanašajo na popravljene ravni hrupa na mestih ocenjevanja, ki se nahajajo:

- na sredini odprtih oken prostorov, občutljivih za hrup,
- pri nepozidanih gradbenih parcelah se hrup oceni na mestu, ki je od meje parcele oddaljeno za razdaljo, ki je enaka zakonsko določeni dovoljeni oddaljenosti stavbe od parcelne meje.

Ocenjena raven hrupa L_r se določi ločeno za:

- dnevni čas med 07:00 do 19:00 in
- nočni čas med od 19:00 in 07:00.

Ocenjena raven hrupa L_r se določi na podlagi ocenjenih ravni hrupa $L_{r,i}$, znotraj posameznega i- tega obratovalnega pogoja s pomočjo enačbe:

$$L_r = 10 \log_{10} \left(\sum_i 10^{0.1 L_{r,i}} \right)$$

Obratovalni pogoj oziroma faza hrupa je definirana kot časovno obdobje v katerem je mesto ocenjevanja izpostavljeno hrupu z enakomerno karakteristiko glede na raven hrupa, prisotnost poudarjenih tonov in izrazitih impulzov.

Ocenjena raven hrupa L_r se ločeno določi za dnevni in nočni čas. Ocenjena raven hrupa za i-ti obratovalni pogoj $L_{r,i}$ se določi kot:

$$L_{r,i} = L_{Aeq,i} + K_{1,i} + K_{2,i} + K_{3,i} + 10 \log_{10} \left(\frac{t_i}{t_0} \right)$$

kjer je:

- $L_{Aeq,i}$ je kontinuirana ekvivalentna A-vrednotena raven zvočnega tlaka tekom i -tega obratovalnega pogoja;
- $K_{1,i}$ je popravek K_1 v času trajanja i -tega obratovalnega pogoja zaradi dela dneva in vrste vira;
- $K_{2,i}$ je popravek K_2 v času trajanja i -tega obratovalnega pogoja zaradi poudarjenih tonov;
- $K_{3,i}$ je popravek K_3 v času trajanja i -tega obratovalnega pogoja zaradi poudarjenih impulzov;
- t_i je trajanje i -tega obratovalnega pogoja v minutah (ločeno za dnevno in nočno obdobje);
- $t_0 = 720$ minut.

Čas trajanja (t_i) i -tega obratovalnega stanja hrupa se določi na podlagi skupnega časa trajanja i -tega obratovalnega pogoja tekom enega leta (T_i) in letnega števila delovnih dni, ko vir obratuje (B) kot:

$$t_i = \frac{T_i}{B}$$

Za neobstoječe nove naprave ali če pride do spremembe obratovanja naprave se povprečno dnevno trajanje i -te obratovalne faze T_i določi na podlagi ocene obratovanja.

Popravek K_1 zaradi dela dneva in vrste vira znaša:

- +5 dB v dnevnem času in
- +10 dB v nočnem času.

Popravek K_2 zaradi poudarjenih tonov je odvisen od slišnosti tonov in znaša:

- 0 dB za zvok, ki ne vsebuje poudarjenih tonov,
- +2 dB za zvok, ki vsebuje slabo slišen tonalen hrup,
- +4 dB za zvok, ki vsebuje jasno slišen tonalen hrup,
- +6 dB za zvok, ki vsebuje močno slišen tonalen hrup.

Popravek izmerjene ravni K_3 upošteva prisotnost impulznega hrupa na mestu ocenjevanja in je enak:

- 0 dB za zvok v katerem ni prisotnih slišnih impulzov,
- 2 dB za zvok, ki vsebuje slabo slišen impulzni hrup,
- 4 dB za zvok, ki vsebuje jasno slišen impulzni hrup,
- 6 dB za zvok, ki vsebuje močno slišen impulzni hrup.

Viri:

- [1] Final_Report_Part 4_Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps. 1.2 Regulations - Countries overview. <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-part-4-annex-51-acoustic-signatures-of-heat-pumps/>

- [2] Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (LSV).
https://www.fedlex.admin.ch/eli/oc/1987/338_338_338/de
- [3] Cercle Bruit. <https://www.cerclebruit.ch/?inc=enforcement&e=6/621.html>

1.3.2. Združeno kraljestvo, Anglija

Skladno z angleško zakonodajo je toplotna črpalka zrak-voda dovoljena gradnja' če izpolnjuje zahteve standardov načrtovanja MCS ali zahteve enakovrednih standardov. Dovoljena gradnja je gradnja, ki ji je bilo podeljeno samodejno gradbeno dovoljenje na podlagi Uredbe o urbanizmu in deželnem načrtovanju (splošna dovoljena gradnja).

Hrup toplotnih črpalk zrak-voda obravnava standard MCS 020 (a). Skladno s standardom MCS 020 (a) verzija 1 hrup zaradi obratovanja toplotne črpalke zrak-voda, ki se uporablja za ogrevanje gospodinjstev (fizičnih oseb) na mestu ocenjevanja ne sme presegati 37 dB(A). Mejna raven hrupa se nanaša na A vrednoteno energijsko ekvivalentno raven hrupa $L_{Aeq,5min}$. Mesto ocenjevanja se nahaja na razdalji 1 m od centra oken ali vrat bivalnih prostorov sosednje nepremičnine.

Viri:

- [1] The Town and Country Planning (General Permitted Development) (England) Order 2015.
<https://www.legislation.gov.uk/ukxi/2015/596/contents>
- [2] <https://mcscertified.com/wp-content/uploads/2025/03/MCS-020-a-Issue-1.0-Final.pdf>

1.4. Pregled Slovenske okoljske in gradbene zakonodaje

1.4.1. Hrup v okolju

Emisije hrupa v okolju ureja Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 43/18, 59/19 in 44/22 – ZVO-2, v nadaljevanju: uredba). Uredba med drugim določa:

- vire hrupa, ki jih je potrebno obravnavati skladno z uredbo,
- mejne vrednosti kazalcev hrupa v okolju,
- način ocenjevanja kazalcev hrupa v okolju in
- stopnje varstva pred hrupom.

V okviru slovenske zakonodaje razlikujemo med:

- a) toplotnimi črpalkami, ki so del naprav, katerih obratovanje zaradi izvajanja industrijske, obrtne, proizvodne ali storitvene dejavnosti povzročajo v okolju stalen ali občasen hrup in obravnavamo kot vir hrupa v skladu z uredbo in
- b) toplotnimi črpalkami, ki so v uporabi pri fizičnih osebah oziroma se uporabljajo za ogrevanje gospodinjstev.

1.4.1.1. Toplotne črpalke, ki so del naprav, katerih obratovanje zaradi izvajanja industrijske, obrtne, proizvodne ali storitvene dejavnosti povzročajo v okolju stalen ali občasen hrup

Hrup takšnih toplotnih črpalk je normiran, uredba pa od upravljavca vira hrupa zahteva redno izvajanje obratovalnega monitoringa hrupa. V kolikor vir hrupa presega mejne vrednosti določene v uredbi, mora upravljavec vira hrupa izvajati ustrezne protihrupne ukrepe. V primeru suma čezmerne obremenitve okolja se lahko poda pobuda oziroma odda prijava na Inšpektorat za okolje in energijo, ki izvaja nadzor nad izvajanjem okoljske zakonodaje.

Mejne ravni hrupa, ki se nanašajo na toplotne črpalke v sklopu naprav katerih obratovanje zaradi izvajanja industrijske, obrtne, proizvodne ali storitvene dejavnosti povzročajo v okolju stalen ali občasen hrup so podane v tabeli 1.4.1.1.1. Meje vrednosti so odvisne od vrste vira in stopnje varstva pred hrupom, kjer se nahaja mesto ocenjevanja hrupa.

Tabela 1.4.1.1.1.: Mejne vrednosti kazalcev hrupa L_{dan} , $L_{večer}$, $L_{noč}$, L_{dvn} , ki ga povzroča toplotna črpalka v sklopu naprav katerih obratovanje zaradi izvajanja industrijske, obrtne, proizvodne ali storitvene dejavnosti povzročajo v okolju stalen ali občasen hrup

Območja varstva pred hrupom	L_{dan} dB(A)	$L_{večer}$ dB(A)	$L_{noč}$ dB(A)	L_{dvn} dB(A)
IV. območje	73	68	63	73
III. območje	58	53	48	58
II. območje	52	47	42	52
I. območje	47	42	37	47

Mejne vrednosti se nanašajo na kazalce hrupa v okolju za dnevni (L_{dan}), večerni ($L_{večer}$) in nočni ($L_{noč}$) čas ter za celodnevno obdobje (L_{dvn}).

Mesto ocenjevanja hrupa naprav se najpogosteje izvede **pred najbolj izpostavljeno fasado stavbe z varovanimi prostori**. Varovani prostor je prostor v stavbi, v katerem se opravlja vzgojno-varstvena ali izobraževalna dejavnost ali dejavnost zdravstvenih domov, zdravstvenih postaj, bolnišnic ali klinik v skladu z zakonom, ki ureja zdravstveno dejavnost, in prostori v stanovanjih, v katerih se ljudje zadržujejo dlje časa (npr. spalnice, dnevne sobe, otroške sobe, bivalne kuhinje ipd.). Za potrebe načrtovanja ukrepov varstva pred hrupom se ocenjevanje izvede tudi na drugih mestih.

Obdobje dneva je razdeljeno na:

- dnevno obdobje med 06:00 in 18:00 uro, ki traja 12 ur,
- večerno obdobje traja med 18:00 in 22:00 uro, ki traja 4 ure in
- nočno obdobje traja med 22:00 in 06:00 uro, ki traja 8 ur.

Pogosto se mesta ocenjevanja nahajajo na območju, kjer velja III. stopnja varstva pred hrupom, kjer je mejna vrednost kazalcev hrupa v nočnem času $L_{noč} = 48$ dBA.

Mejne vrednosti oziroma kazalci hrupa za naprave se največkrat določijo z upoštevanjem Pravilnika o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 105/08 in 44/22 – ZVO-2, v nadaljevanju: pravilnik) na podlagi **ocenjene** ravni hrupa v dnevnem, večernem in nočnem času. Ocenjena raven je izmerjena ali izračunana raven hrupa popravljena zaradi izrazitih impulzov ali izrazitih impulzov. Ocenjena raven L_r se določi na podlagi enačbe:

$$L_r = L_{AFeq} + K$$

kjer je:

- L_{AFeq} dejansko izmerjena ekvivalentna raven hrupa, izražena v enotah dB(A) in izmerjena z merili, ki imajo frekvenčno ovrednoteno karakteristiko tipa A in časovno uteženo karakteristiko tipa F (Fast).
- K je popravek zaradi poudarjenih tonov (K_t) ali zaradi izrazitih impulzov (K_i).

Popravek zaradi poudarjenih tonov (K_t) se določi skladno s standardom SIST ISO 1996-2:2017 (Dodatek K) in pravilnikom na podlagi terčne frekvenčne analize ekvivalentne ravni hrupa v območju med 25 Hz in 10000 Hz. Če je prisotnost poudarjenih tonov potrjena se upošteva vrednost popravka $K_t = +4$ dB(A), v nasprotnem primeru je $K_t = +0$ dB(A).

Popravek zaradi izrazitih impulzov se upošteva v primeru prisotnosti izrazitih impulzov. Popravek zaradi izrazitih impulzov K_i je lahko +0 dB(A), +5 dB(A), +6 dB(A) ali +12 dB(A). Vrednost popravka je odvisna od kategorije impulzov, ki se določi s pomočjo standarda SIST ISO 1996-1 in časovnega intervala ponavljanja impulzov, ki je določen s Pravilnikom.

Če je preiskovanemu hrupnemu viru treba prišteti hkrati popravek zaradi izrazitih impulzov in popravek zaradi poudarjenih tonov, se upošteva samo največji izmed njiju.

Raven L_r se določi posebej za dnevni $L_{r,dan}$, večerni $L_{r,večer}$ in nočni $L_{r,noč}$ čas. L_r v celodnevem obdobju se imenuje $L_{r,dvn}$ in se izračuna kot:

$$L_{r,dvn} = 10 \log_{10} (12 \cdot 10^{0.1 L_{r,dan}} + 4 \cdot 10^{0.1 (L_{r,večer} + 5)} + 8 \cdot 10^{0.1 (L_{r,noč} + 10)})$$

Na podlagi ravni hrupa $L_{r,dan}$, $L_{r,večer}$, $L_{r,noč}$ in $L_{r,dvn}$ se izračunajo še kazalci hrupa L_{dan} , $L_{večer}$, $L_{noč}$, L_{dvn} . Pri tem se upošteva efektivno obratovanje vira hrupa v obdobju dneva, večera in noči. Kazalci hrupa se nato primerjajo z mejnimi vrednostmi iz tabele 1.4.1.

1.4.1.2. Toplotne črpalke, ki so v uporabi pri fizičnih osebah oziroma se uporabljajo za ogrevanje gospodinjstev

Toplotne črpalke v uporabi pri fizičnih osebah niso vir hrupa, ki bi bil normiran na podlagi uredbe. Za takšne toplotne črpalke ni predviden monitoring hrupa, prav tako pa ne poznamo pravno zavezujočih mejnih vrednosti. Proizvodnja in trg toplotnih črpalk, namenjenim fizičnim osebam, sta regulirana z zakonodajo na področju proizvodov in sicer z Uredbami EU 813/2013 in EU 814/2013 o izvajanju Direktive 2009/125/ES za določanje zahtev za okoljsko primerno zasnovo izdelkov. Direktiva 2009/125/ES je v slovenski pravni red prenesena z Uredbo o tehničnih zahtevah za okoljsko primerno zasnovo proizvodov povezanih z energijo in Zakonom o učinkoviti rabi energije.

V primeru motečega hrupa toplotnih črpalk fizičnih oseb se lahko uporablja sosedsko pravo: Sosedje so dolžni svojo lastninsko pravico izvrševati tako, da se medsebojno ne vznemirjajo in si ne povzročajo škode. Pravice, ki omejujejo lastninsko pravico sosedu, se morajo izvrševati pošteno v skladu s krajevnimi običaji in na način, ki ga najmanj obremenjuje (73. člen Stvarnopravnega zakonika, SPZ). Temeljno načelo sosedskega prava je, da je vsak lastnik nepremičnine skladno s 75. členom SPZ dolžan pri uporabi nepremičnine opuščati dejanja in odpravljati vzroke, ki izvirajo iz njegove nepremičnine in otežujejo uporabo drugih nepremičnin čez mero, ki je glede na naravo in namen nepremičnine ter glede na krajevne razmere običajna ali povzročajo znatnejšo škodo (prepovedana imisija).

1.4.2. Hrup v notranjosti stavb

Hrup v stavbah je zajet v sklopu Pravilnika o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 10/12, 61/17 – GZ in 199/21 – GZ-1) in tehnične smernice TSG – 005 Zaščita pred hrupom v stavbah, ki se uporabljata za projektiranje in gradnjo novih stavb ter rekonstrukcijo in vzdrževanje obstoječih stavb. Zaščita pred hrupom v stavbah mora zagotavljati varstvo pred:

- zunanjim hrupom (npr. hrupom zaradi prometa, hrupom iz industrijskih objektov),
- hrupom, ki po zraku prihaja iz drugih prostorov,
- udarnim hrupom, ki se iz drugih prostorov prenaša prek konstrukcije,
- hrupom obratovalne opreme in
- odmevnim hrupom.

Zunanji hrup je hrup, ki ga povzročajo viri izven stavbe kot so na primer promet ali hrup, ki izvira iz naprav v sklopu objektov, kjer se izvaja industrijska, obrtna, proizvodna ali storitvena dejavnosti. Hrup obratovalne opreme pa je hrup inštalacij in naprav, ki so namenjeni delovanju stavbe.

1.4.2.1. Zaščita stavbe pred zunanjim hrupom

Zaščita stavbe pred zunanjim hrupom se zagotovi z izvedbo zadostne zvočne izolacije zunanjih in notranjih ločilnih elementov. Pri projektiranju in gradnji novih stavb ter rekonstrukciji in vzdrževanju obstoječih stavb je potrebno upoštevati, da mora biti zvočna izolacija zunanjih in notranjih ločilnih elementov dovolj velika, da hrup v varovanih in poslovnih prostorih stavbe v posameznih obdobjih dneva ne bo presegal mejnih ekvivalentnih ravni hrupa L_{Aeq} . Mejne ravni se razlikujejo glede na obdobje dneve in namembnost prostora in so podane v tabeli 1.4.2.1.1.

Tabela 1.4.2.1.1.: Mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa v prostoru zaradi zunanjih virov hrupa

Namembnost prostora	Mjerne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa L_{Aeq} v dB(A)		
Prostori v stanovanjih	35	33	30
Prenočitvene enote v stavbah za nastanitev (hotelih, motelih, penzionih, ipd.) ter sobe v stanovanjskih stavbah za posebne namene (domovi za starejše, dijaški domovi, internati, ipd.)	35	33	30
Bolniške sobe	30	30	30
Ambulante, ordinacije, operacijski prostori	35	35	35
Učilnice, predavalnice, delovni in študijski kabineti, knjižnice, čitalnice, ipd.	35	35	35

Obdobje dneva je razdeljeno na:

- dnevno obdobje med 06:00 in 18:00 uro,
- večerno obdobje med 18:00 in 22:00 uro in
- nočno obdobje med 22:00 in 06:00 uro.

Mejne ravni hrupa se nanašajo na popravljene ravni, opremljene prostore in standardno absorpcijo. Ekvivalentna raven hrupa v nočnem času se nanaša na tisto uro, ko je hrup največji. **Hrup v stavbi zaradi zunanjih virov** hrupa se določi na podlagi enačbe:

$$L_{r,Aeq} = L_{Aeq} + 10 \log_{10} \left(\frac{A}{A_0} \right) + K_t$$

kjer je:

- A ekvivalentna absorpcijska površina v neopremljenem bivalnem prostoru pri frekvenci zvoka 500 Hz. Ekvivalentna absorpcijska površina A v neopremljenem prostoru se določi z merjenjem dolžine odmevnega časa v terčnem frekvenčnem pasu s srednjo frekvenco 500 Hz in z enačbo $A = 0.163 V/T$. Pri čemer je V prostornina prostora in T dolžina odmevnega časa v neopremljenem prostoru. Dolžina odmevnega časa se meri po standardu SIST EN ISO 3382-2.
- A_0 referenčna ekvivalentna absorpcijska površina, ki znaša za bivalne in delovne prostore 10 m^2 in za učilnice 20 m^2 ;
- K_t popravek zaradi poudarjenih tonov. V primeru prisotnosti poudarjenih tonov se izmerjeni ravni hrupa prišteje $K_t = 5 \text{ dB(A)}$.

Raven $L_{r,Aeq}$ se primerja z mejno vrednostjo ekvivalentnih ravni hrupa L_{Aeq} v dB(A) iz tabele 1.4.2.1.1.

1.4.2.2. Zaščita pred hrupom obratovalne opreme

Zaščita prostorov pred hrupom obratovalne opreme se zagotavlja z ukrepi za zvočno izolacijo obratovalne opreme. Hrup, ki ga povzroča obratovalna oprema, ne sme preseči mejnih ravni hrupa L_{AFmax} . Mejne ravni se razlikujejo glede na namembnost prostora in so podane v tabeli 1.4.2.2.1.

Tabela 1.4.2.2.1.: Mejne vrednosti maksimalnih ravni hrupa v prostoru zaradi hrupa obratovalne opreme

Namembnost prostora	Mejne ravni hrupa L_{AFmax} v dB(A)
Varovani prostori v stanovanjih, prenočitvene enote, bolniške sobe	30
Ambulante, ordinacije, operacijski prostori	35
Učilnice, predavalnice, delovni in študijski kabineti, knjižnice, čitalnice, ipd.	40

Mejne ravni hrupa L_{AFmax} se nanašajo na **popravljene** ravni $L_{r,AFmax}$, opremljene prostore in standardno absorpcijo. Posamezne kratkotrajne konice hrupa, ki nastanejo pri uporabi vodovodnih inštalacij in armatur v sosednjih prostorih, se ne upoštevajo.

$$L_{r,AFmax} = L_{AFmax} + 10 \log_{10} \left(\frac{A}{A_0} \right) + K_t$$

kjer je A ekvivalentna absorpcijska površina v neopremljenem bivalnem prostoru pri frekvenci zvoka 500 Hz. A_0 referenčna ekvivalentna absorpcijska površina, ki znaša za bivalne in delovne prostore 10 m² in za učilnice 20 m². K_t popravek zaradi poudarjenih tonov. V primeru prisotnosti poudarjenih tonov se izmerjeni ravni hrupa prišteje $K_t = 5$ dB(A). Raven $L_{r,AFmax}$ se primerja z mejno vrednostjo ekvivalentnih ravni hrupa L_{AFmax} v dB(A) iz tabele 1.4.2.2.1.

Pred letom 2012 je bil v veljavi Pravilnik o zvočni zaščiti stavb (Uradni list RS, št. 14/99), ki je imel dodaten člen in sicer, če je raven hrupa ozadja v bivalnem prostoru nižja od 30 dB(A) podnevi in 25 dB(A) ponoči, se zaradi hrupa hišnih naprav, inštalacij in obratov ter virov hrupa izven stavbe, raven hrupa v tem prostoru ne sme povečati za več kot 5 dB(A).

1.4.3. Lokalni predpisi – občinski odloki

Občine v občinskih odlokih lahko določijo pravila inštalacije naprav, ki jih uporabljajo fizične osebe. V mestnih občinah Ljubljana in Maribor je na tak način urejeno umeščanje klimatskih naprav.

V 14. členu Odloka o občinskem prostorskem načrtu Mestne občina Ljubljana je navedeno, da morajo biti klimatske naprave na objektih tipov NV, V, VS in C izvedene brez zunanje enote ali tako, da zunanja enota na ulični fasadi objekta ni vidna. Namestitev klimatskih naprav je dopustna v objektu ali pa na balkonih stavb, na podstrešju, na ravni strehi in na dvoriščni fasadi, pri novogradnjah tudi kot sestavni del oblikovane fasade. Klimatska naprava ne sme imeti motečih vplivov (hrup, vroči zrak, odtok vode) na okoliška stanovanja in prostore, v katerih se zadržujejo ljudje.

V 92. členu Odloka o občinskem prostorskem načrtu Mestne občina Maribor je navedeno, da morajo biti klimatske naprave praviloma izvedene brez zunanje enote ali tako, da so nameščene na strehe in skrite dele fasad (terase, zastrti deli balkona). Na območjih centralnih dejavnosti morajo biti nameščene vizualno zakrito ali kot sestavina oblikovanja. Klimatske naprave ne smejo imeti nedovoljenih ali negativnih vplivov (hrup, vroči zrak, odtok vode). V nobenem primeru pojem hrup v primeru naprav v lasti fizičnih oseb ni normiran.

Viri:

- [1] Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju Uradni list RS, št. 43/18, 59/19 in 44/22 – ZVO-2. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED7531>
- [2] Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah Uradni list RS, št. 10/12, 61/17 – GZ in 199/21 – GZ-1. <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=PRAV10622>
- [3] Tehnična smernica TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah. https://www.gov.si/assets/ministrstva/MNVP/Dokumenti/Graditev/tsg_005_zascita_pred_hrupom.pdf
- [4] Slovensko društvo za akustiko. <https://www.drustvo-akustika.si/>
- [5] Odlok o občinskem prostorskem načrtu mestne občine Maribor – dopolnjen osnutek https://prostor.maribor.si/prostorski-akti/javne-razgrnitve/datoteke/1237/39b4f24dba2d817e66a7.pdf/220528_OPN_MOM.pdf
- [6] Neuradno prečiščeno besedilo Odloka o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana - izvedbeni del.
<https://www.ljubljana.si/assets/Uploads/Neuradno-precisceno-besedilo-Odloka-o-obcinskem-prostorskem-nacrtu-Mestne-obcine-Ljubljana-izvedbeni-del-2010-78-4264-NPB20.pdf>

1.5. Zaključek in pomembnejše ugotovitve

- Hrup toplotnih črpalk v lasti fizičnih oseb v Sloveniji ni normiran.
- V državah, kjer je hrup toplotnih črpalk normiran so dovoljene ravni hrupa zaradi obratovanja toplotnih črpalk nižje v nočnem kot v dnevnem času.
- V večini držav, kjer je hrup toplotnih črpalk normiran, se priporočena raven hrupa nanaša na imisijsko mesto na parceli, kjer se nahaja sosednji objekt z varovanimi prostori. Pri tem sta izpostavljeni dve mesti ocenjevanja in sicer parcelna meja, in/ali mesto ocenjevanja pred varovanimi prostori z okni ali vrati.
- Normirana imisijska raven hrupa se tipično nanaša na ocenjeno raven hrupa, kjer se izmerjeni A- vrednoteni ravni hrupa prištejejo popravki, s čimer se upoštevajo lastnosti hrupa toplotnih črpalk, ki so povezane z vznemirjenostjo. Popravki se nanašajo na prisotnost poudarjenih tonov, prisotnost nizkofrekvenčnega hrupa in prisotnost poudarjenih nizkofrekvenčnih tonov. Popravki se nanašajo še na čas trajanja obratovanja, pojav prehodnih zvočnih dogodkov, ki so jasno zaznavni v primerjavi s hrupom ozadja in tudi na hrup ozadja.
- Čas trajanja obratovanja ni določen na podlagi povprečnega trajanja obratovanja v obdobju enega leta. V nočnem času se tipično upošteva najglasnejša ura ali celo krajši čas povprečenja.
- Francija, Irska, Nemčija in Avstrija pri ocenjevanju obremenjenosti hrupa v okolju zaradi obratovanja toplotnih črpalk upoštevajo raven hrupa ozadja oziroma osnovno raven ali pa upoštevajo ravni hrupa glede na območje (cono) varstva pred hrupom.
- Priporočena imisijska raven hrupa (z upoštevanjem popravkov) v nočnem čas je med 25 dB(A) in 40 dB(A).
- Avstrija in Švica na fasadi objektov z varovanimi prostori upoštevata smernice WHO.
- Smernice in normativi s področja okoljskega hrupa in hrupa v stavbah so urejeni ločeno.

2. Faza 2: akustična karakterizacija hrupa toplotne črpalke

Proizvodnja in trg toplotnih črpalk, namenjenim fizičnim osebam, sta regulirana z zakonodajo na področju proizvodov in sicer z Uredbo komisije (EU) št. 813/2013 o izvajanju Direktive 2009/125/ES glede zahtev za okoljsko primerno zasnovo grelnikov prostorov in kombiniranih grelnikov in Uredbo komisije (EU) št. 814/2013 o izvajanju Direktive 2009/125/ES glede zahtev za okoljsko primerno zasnovo grelnikov vode in hranilnikov tople vode. Direktiva 2009/125/ES je v slovenski pravni red prenesena z Uredbo o tehničnih zahtevah za okoljsko primerno zasnovo proizvodov povezanih z energijo in Zakonom o učinkoviti rabi energije.

Uredba komisije (EU) št. 813/2013 in Uredba komisije (EU) št. 814/2013 v prilogi II postavljata zahteve za raven zvočne moči toplotnih črpalk (L_{WA} oziroma L_W v dB(A)) za ogrevanje prostorov oziroma vode v notranjih prostorih in na prostem z nazivno izhodno toploto do 70 kW. Obe uredbi v prilogah IV oziroma V navajata, da so v postopku preverjanja za namene tržnega nadzora dovoljena odstopanja od prijavljene vrednosti zvočne moči enote do 2 dB in podajata ciljne vrednosti za raven zvočne moči glede na najboljšo razpoložljivo tehnologijo, ki je bila na voljo ob začetku veljavnosti uredb leta 2013.

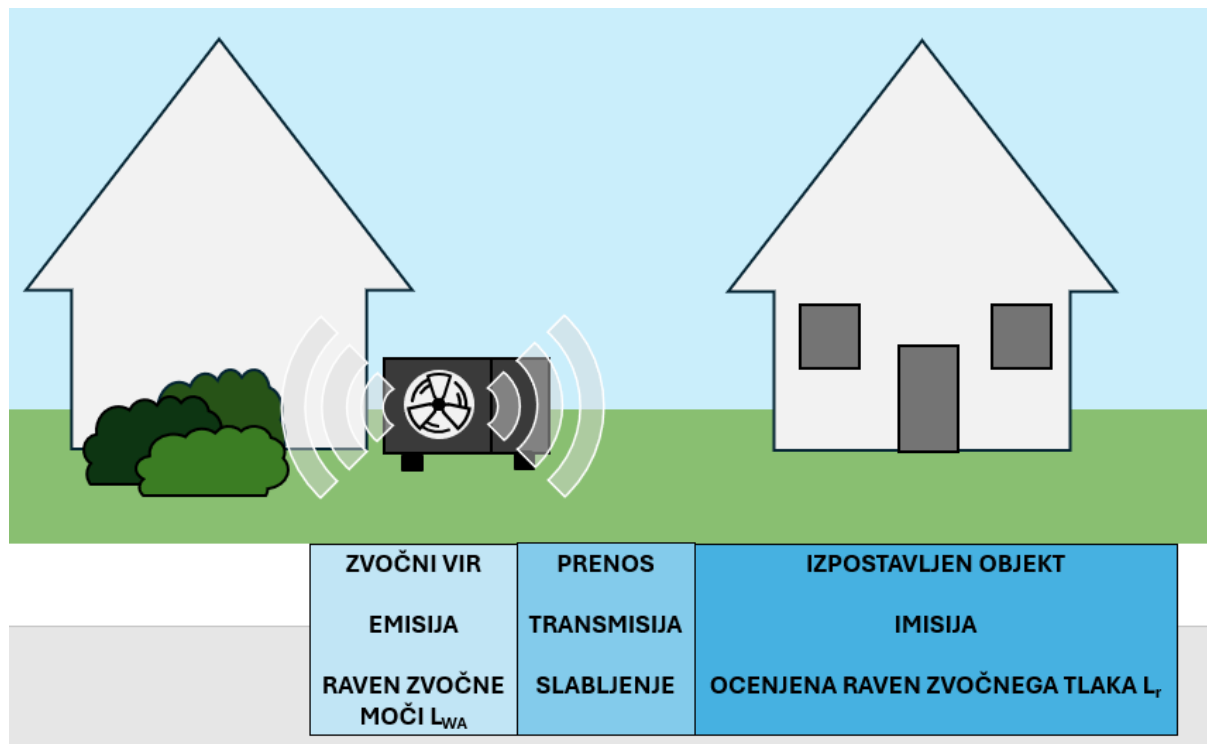
Od 26. septembra 2015 raven zvočne moči za toplotne črpalke za ogrevanje prostorov in/ali vode in kombinirane grelnike s toplotno črpalko ne sme presegati vrednosti, ki so podane v tabeli 2.1:

Tabela 2.1.: najvišja dopustna raven zvočne moči toplotnih črpalk za ogrevanje prostorov in/ali vode in kombinirane grelnike s toplotno črpalko.

Nazivna izhodna toplota ≤ 6 kW		Nazivna izhodna toplota > 6 kW in ≤ 12 kW		Nazivna izhodna toplota > 12 kW in ≤ 30 kW		Nazivna izhodna toplota > 30 kW in ≤ 70 kW	
Nivo zvočkovne moči (L_{WA}), v notranjih prostorih	Nivo zvočkovne moči (L_{WA}), na prostem	Nivo zvočkovne moči (L_{WA}), v notranjih prostorih	Nivo zvočkovne moči (L_{WA}), na prostem	Nivo zvočkovne moči (L_{WA}), v notranjih prostorih	Nivo zvočkovne moči (L_{WA}), na prostem	Nivo zvočkovne moči (L_{WA}), v notranjih prostorih	Nivo zvočkovne moči (L_{WA}), na prostem
60 dB	65 dB	65 dB	70 dB	70 dB	78 dB	80 dB	88 dB

Ker Uredba komisije (EU) št. 813/2013 (v nadaljevanju, uredba EU 813/213) in Uredba komisije (EU) št. 814/2013 (v nadaljevanju, uredba EU 814/213) omejujeta raven zvočne moči, ki je akustična lastnost toplotne črpalke pravimo, da omejujeta **emisije** hrupa. Zvočno moč oziroma raven zvočne moči vira (L_W ali L_{WA}) se lahko določi na podlagi meritev v za to namenjenih akustičnih laboratorijih, kjer se v določenem frekvenčnem območju lahko zagotovijo pogoji, ki izpolnjujejo zahteve za prosto zvočno polje na terenu, lahko pa tudi na podlagi meritev ravni zvočnega tlaka v bližini vira (vendar ne v bližnjem zvočnem polju) in uporabi modela razširjanja zvoka. Raven zvočne moči je od razdalje in namestitve neodvisna akustična značilnost toplotne črpalke.

V Sloveniji se v primeru motečega hrupa toplotnih črpalk fizičnih oseb lahko uporablja sosedsko pravo, ki se nanaša na prepovedano **imisiijo**. Imisije hrupa sicer v splošnem podajamo kot ocenjeno raven zvočnega tlaka (L_r v dB(A)) oziroma imisijsko raven. Imisijska raven hrupa je odvisna tako od akustičnih lastnosti zvočnega vira in zvoka, ki ga oddaja, kakor tudi od razdalje med virom hrupa in mestom imisije ter številnih parametrov, ki vplivajo na razširjanje hrupa (**transmisijo**). Imisijsko raven se lahko določi za vsako situacijo posebej na podlagi meritev ali izračuna, ki temelji na zvočni moči ter z upoštevanjem popravkov povezanih z lastnostmi akustičnega signala. Razlika med emisijo in imisijo hrupa je shematsko prikazana na sliki 2.1.



Slika 2.1.: uredbi EU 813/2013 in EU 814/2013 urejata raven zvočne moči toplotne črpalke (emisijo). Normativi s področja okoljskega hrupa urejajo ocenjeno raven zvočnega tlaka (imisiijo).

Namen druge faze je pregled strokovnih podlag, ki so podlaga za karakterizacijo emisij hrupa toplotnih črpalk. Pri tem je bila upoštevana strokovna literatura in dostopni eksperimentalni podatki. V sklopu druge faze so bili pregledani dostopni podatki o ravneh zvočne moči, laboratorijski standardi, ki se uporabljajo pri meritvah ravni zvočne moči, identificirani so bili hrupni viri v sklopu toplotne črpalke. Predstavljene so tudi pomembnejše emisijske lastnosti toplotnih črpalk zrak-voda.

2.1. Pregled podatkov o toplotni moči v povezavi z zvočno močjo toplotnih črpalk na podlagi podatkov proizvajalcev

2.1.1. Raven zvočne moči v tehničnih specifikacijah

Toplotna moč in raven zvočne moči sta podatka, ki jih lahko najdemo v tehničnih specifikacijah proizvajalcev. Oznaka za raven zvočne moči (ang. Sound power level) je v večini primerov L_{WA} oziroma L_W v enotah dB(A).

Raven zvočne moči toplotnih črpalk se določa skladno s standardom EN 12102. V večini primerov se poroča pri pogoju A7W35. Pri tem pogoju se zajema zrak s temperaturo suhega termometra 7 °C in vlažnega termometra 6 °C, temperatura vode pa mora biti 30 °C na vstopu in 35 °C na izstopu iz izmenjevalca (kondenzatorja).

Nekateri proizvajalci pa podajajo tudi raven zvočne moči pri drugih pogojih (npr. pri pogoju A2W35, kjer se zajema zrak s temperaturo suhega termometra 2 °C, temperatura vode pa mora biti 30 °C na vstopu in 35 °C na izstopu iz izmenjevalca (kondenzatorja)) ali pa maksimalno raven zvočne moči in raven zvočne moči v tistem načinu delovanja. Včasih proizvajalci podajajo še izračunane ravni zvočnega tlaka L_p na določeni oddaljenosti od črpalke, pri čemer pa parametri izračuna niso vedno podani. Raven zvočnega tlaka L_p ne bi smeli enačiti z ocenjenimi imisijskimi ravni zvočnega tlaka L_r , saj ne upoštevajo popravkov izmerjene ravni hrupa. Tehnični podatki o hrupu naprave se podajajo v obliki tabel. Ena izmed takih tabel je prikazana na sliki 2.1.1.1.

Slika 2.1.1.1.: primer podatkov o ravneh zvočne moči pri različnih obratovalnih pogojih.

	Sound power ¹	Sound pressure at distance (m) ²									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nominal sound value	49	44	38	34.5	32	30	28.5	27	26	25	24
Max. sound value	55	50	44	40.5	38	36	34.5	33	32	31	30
Max. sound value, silent mode	50	45	39	35.5	33	31	29.5	28	27	26	25

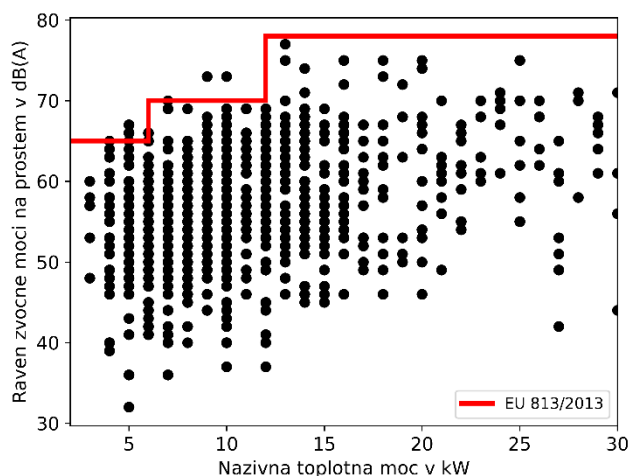
¹ Sound power level, $L_W(A)$, according to EN12102

² Sound pressure calculated according to directivity factor $Q=4$

Iz slike 2.1.1.1. vidimo, da gre za črpalko katere nazivna raven zvočne moči (zvočna moč pri nazivni toploti) je 49 dB(A), maksimalna raven zvočne moči pa znaša 55 dB(A). Raven zvočne moči toplotne črpalke je odvisna od nazivne izhodne toplote zaradi česar se tudi dopustne ravni zvočne moči toplotnih črpalk iz uredb EU 813/2013 in EU 814/2013 razlikujejo glede na izhodno toploto.

Kakšno je trenutno stanje tehnike za naprave, ki so prisotne na trgu smo preverili z analizo avstrijske baze podatkov, ki je objavljena na www.produktdatenbank-get.at. Ravni zvočne moči črpalk na

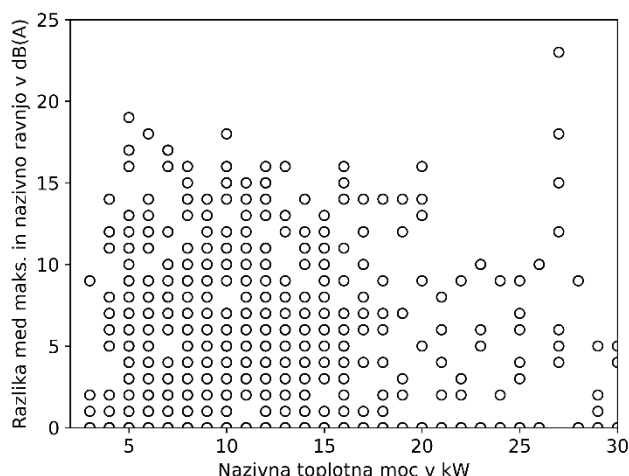
prostem določene po EN 12102 pri pogoju A7W35 v odvisnosti od nazivne izhodne toplote v kW za črpalke iz avstrijske baze so prikazane na sliki 2.1.1.2. Podatki za posamezne črpalke so prikazani s črnimi pikami, z rdečo neprekinjeno črto so označene ravni, ki jih skladno z uredbama EU 813/2013 in EU 814/2013 črpalke ne smejo presegati.



Slika 2.1.1.2: Ravni zvočne moči črpalk na prostem določene po EN 12102 pri pogoju A7W35 v odvisnosti od nazivne izhodne toplote v kW za črpalke (črne pike) in ravni, ki jih skladno z uredbama EU 813/2013 in EU 814/2013 črpalke ne smejo presegati (rdeča črta).

Ravni zvočne moči pri pogoju A7W35, ki jih predpisujeta uredbi EU 813/2013 in EU 814/2013, izpolnjujejo skoraj vse črpalke. Po drugi strani opazimo velik raztros v ravneh zvočne moči za črpalke, ki imajo enako nazivno toplotno moč. Na primer razpon ravni zvočne moči črpalk katerih nazivna toplotna moč je 8 kW je med 40 dB(A) do 69 dB(A). Razlika med najtišjo in najglasnejšo črpalko je 29 dB(A), ki je z vidika akustike zelo pomembna. Po drugi strani lahko vidimo, da je na voljo precej črpalk katerih raven zvočne moči pri pogoju A7W35 je nižja od 50 – 55 dB(A), kar odraža trenutno stanje tehnike.

V isti bazi lahko najdemo podatke o maksimalnih ravneh zvočne moči, ki se pogosto uporablja v fazi načrtovanja toplotnih črpalk. Gre za podatke, ki jih podajajo proizvajalci, ki so tudi odgovorni za njihovo točnost. Na Sliki 2.1.1.3: so prikazane razlike med nazivno zvočno močjo pri pogoju A7W35 in maksimalno zvočno močjo.



Slika 2.1.1.3: razlike med nazivno zvočno močjo pri pogoju A7W35 in maksimalno zvočno močjo.

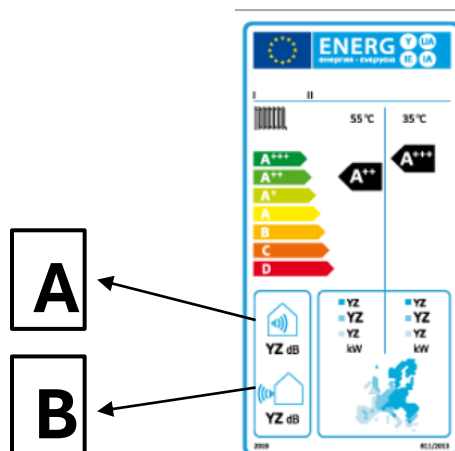
Razlike med maksimalno in nazivno ravno zvočne moči se gibljejo med 0 in 20 dB(A). Do večjih razlik pride pri črpalkah, ki imajo nižjo nazivno toplotno moč. Velik raztros podatkov in velike razlike med nazivno in maksimalno ravno zvočne moči, ki jih lahko razberemo iz tehničnih specifikacij so tudi en izmed pogostih problemov oziroma izzivov s katerimi se soočajo strokovnjaki s področja okoljske akustike. Pred uporabo podatkov o zvočni moči, bi bilo njihovo pravilnost potrebno preveriti pri proizvajalcih naprav in uporabiti najbolj relevanten podatek za specifično aplikacijo. To še posebej velja za črpalke pri katerih je razlika med nazivno in maksimalno zvočno močjo majhna ali pa je celo enaka 0 dB(A).

2.1.2. Energetska nalepka

Delegirana uredba komisije (EU) št. 811/2013 z dne 18. Februarja 2013 o dopolnitvi Direktive 2010/30/EU Evropskega parlamenta in Sveta glede energijskega označevanja grelnikov prostorov, kombiniranih grelnikov, kompletov grelnika prostorov, naprave za uravnavanje temperature in sončne naprave ter kompletov kombiniranega grelnika, naprave za uravnavanje temperature in sončne naprave je povezana z Uredbo Komisije (EU) št. 813/2013 in ureja označevanje produktov z energetske nalepke. Pri tem je kapaciteta naprave omejena na 70 kW. Delegirana uredba (EU) št. 811/2013 zahteva, da je na energetske nalepke navedena raven zvočne moči naprave (v notranjosti ali v zunanosti), ki mora biti dostopna kupcu.

Uredba št. 812/2013 je dopolnilna uredba, ki ureja energijsko označevanje izdelkov, ki jih zajema uredba št. 814/2013. Tudi ta uredba zahteva, da je raven zvočnih moči (notranja in/ali zunanja) navedena na energijski nalepki, ki jo je treba stranki zagotoviti z izdelkom. Slika 2.1.2.1. prikazuje

primer energijske nalepke, ki na spodnji levi strani prikazuje podatke o ravni zvočne moči zunaj in znotraj objekta.



Slika 2.1.2.1.: energijska nalepka s podatki o ravneh zvočne moči toplotne črpalke v notranjosti (A) in zunanosti (B)

Nadzor trga: za namen nadzora trga, ki ga izvajajo organi držav članic, izmerjene vrednosti ne smejo biti več kot 2 dB višje od nazivne vrednosti, ki jo navede proizvajalec. Ta zahteva velja za vse zgoraj navedene uredbe, ki urejajo okoljsko primerno zasnovano (ECODESIGN) in energijske nalepke (Energy Labelling).

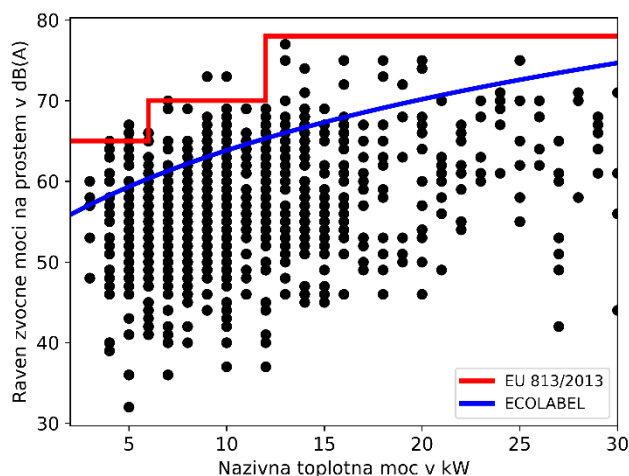
Oznaka ECOLABEL: Sklep Komisije št. 2014/314/EU z dne 28. maja 2014 določa merila za podelitev znaka EU za okolje grelnim napravam na osnovi vode. Merila za znak za okolje Ecolabel vključujejo omejitve emisij hrupa toplotnih črpalk oziroma njihovo zvočno moč. Dokument navaja, da se emisije hrupa obravnavajo v povezavi s standardi: EN ISO 3744, EN ISO 3746, EN 12102. Skladno zahtevami dokumenta emisije hrupa toplotnih črpalk ne smejo presegati mejnih ravni zvočnih moči. Mejne ravni zvočnih moči so označene kot $L_{WAd,lim}$ in so določene z enačbo:

$$L_{WAd,lim} = 17 + 36 \times \log_{10}(P_N + 10)$$

kjer je P_N nazivna toplotna moč črpalke podana v enotah kW.

Emisije hrupa (ravni zvočnih moči) je potrebno določiti pri standardnih obratovalnih pogojih in nazivni toplotni moči. Meritve se podajajo v enotah dB(A). Za toplotne črpalke se preskušanje izvede skladno z EN 12102. Poročilo o preskusu se predloži skupaj z vlogo. Raven zvočne moči črpalk na prostem določene po EN 12102 pri pogoju A7W35 v odvisnosti od nazivne izhodne toplote v kW za črpalke iz avstrijske baze je prikazana na sliki 2.1.2.2. Podatki za posamezne črpalke so prikazani s črnimi krogi, z rdečo neprekinjeno črto so označene ravni, ki jih skladno z uredbama EU 813/2013 in EU 814/2013 črpalke ne smejo presegati. Dodatno so z modro neprekinjeno črto prikazane zahteve

meril Ecolabel, ki so strožje kot zahteve uredb EU 813/2013 in EU 814/2013. Kljub temu jih izpolnjuje večina toplotnih črpalk.



Slika 2.1.2.2. :Ravni zvočne moči črpalk na prostem določene po EN 12102 pri pogoju A7W35 v odvisnosti od nazivne izhodne toplote v kW za črpalke (črne pike) in ravni, ki jih skladno z uredbama EU 813/2013 in EU 814/2013 črpalke ne smejo presegati (rdeča črta) ter zahteve meril Ecolabel (modra krivulja).

Na spletni strani ECOLABEL (https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/product-list/space-heaters_en?prefLang=sl#scope) lahko najdemo povezavo na spletno stran [The best heat pumps on the European Market \(2023\) | topten.eu](https://www.topten.eu), kjer so objavljene najboljše toplotne črpalke, ki so dosegljive na Evropskem tržišču. Črpalke se na lestvico uvrstijo na podlagi različnih kriterijev, med njimi tudi glede na podatke o ravneh zvočne moči naprav.

topten.eu					
News About Us Partner Contact Search...					
Household	Lighting	Office & TVs	Building Components	Professional Appliances	
	Brand & Model	Energy	Type	Technical Data	
	Hoval AG Belaria pro (24) Series: Belaria pro	Efficiency index at 55°C: 165,00 Efficiency index at 35°C: 225,00 Efficiency class at 35°C: A+++ Efficiency class at 55°C: A+++	air-water Refrigerant: R290	Heat output A2/W35 (kW): 14,50 COP A2/W35: 4,90	
	Viessmann Vitocal 252-A A10 Series: Vitocal 252-A A10 Series products: Show Series Products	Efficiency index at 55°C: 152,00 Efficiency index at 35°C: 197,00 Efficiency class at 35°C: A+++ Efficiency class at 55°C: A+++	air-water Refrigerant: R290	Heat output A2/W35 (kW): 11,00 COP A2/W35: 4,50	
	Viessmann Vitocal 250-A 13 Series: Vitocal 250-A 13 Series products: Show Series Products	Efficiency index at 55°C: 154,00 Efficiency index at 35°C: 195,00 Efficiency class at 35°C: A+++ Efficiency class at 55°C: A+++	air-water Refrigerant: R290	Heat output A2/W35 (kW): 12,30 COP A2/W35: 4,00	
	Elco Series: AEROTOP SPK16 Series products: Show Series Products	Efficiency index at 55°C: 154,00 Efficiency index at 35°C: 215,00 Efficiency class at 35°C: A+++ Efficiency class at 55°C: A+++	air-water Refrigerant: R290	Heat output A2/W35 (kW): 18,00 COP A2/W35: 4,60	
	Acond Series: PRO R	Efficiency index at 55°C: 165,00 Efficiency index at 35°C: 199,00 Efficiency class at 35°C: A+++ Efficiency class at 55°C: A+++	air-water Refrigerant: R290	Heat output A2/W35 (kW): 16,65 COP A2/W35: 4,50	
	Kronoterm Series: Adapt MAX10035 Series products: Show Series Products	Efficiency index at 55°C: 175,00 Efficiency index at 35°C: 234,00 Efficiency class at 35°C: A+++ Efficiency class at 55°C: A+++	air-water Refrigerant: R290	Heat output A2/W35 (kW): 35,00	
	Dimplex	Efficiency class at 35°C: A+++	air-water		

Slika 2.1.2.3.: najboljše toplotne črpalke, ki so dosegljive na Evropskem tržišču po podatkih spletne strani [The best heat pumps on the European Market \(2023\) | topten.eu](https://www.topten.eu).

2.2. Pregled laboratorijskih standardov za določanje ravni zvočne moči toplotnih črpalk, na katere se sklicujejo proizvajalci

Testiranje in ocenjevanje akustičnih lastnosti toplotnih črpalk za ogrevanje prostorov in vode se ocenjuje skladno z Evropskimi industrijskimi standardi za izdelke. Ti standardi temeljijo na akustičnih standardih za določanje ravni zvočne moči. Standardi določajo pogoje inštalacije in obratovalne pogoje pri katerih se izvajajo meritve emisije toplotnih črpalk. V primeru toplotnih črpalk je najbolj relevanten standard EN 12102-1. Ta evropski standard v skladu s standardiziranimi postopki določa zahteve za določanje ravni zvočne moči toplotnih črpalk za ogrevanje prostora in vode. Pri tem je potrebno upoštevati postopek, ki je opisan v skupini standardov EN 14511. Standard EN 12102-1 se navezuje zgolj na hrup, ki se prenaša po zraku.

Standard EN 12102-1 je standard, ki se uporablja za preverjanje skladnosti toplotnih črpalk z evropskimi regulativami in uredbami vključno z:

- Uredbo komisije (EU) št. 813/2013 z dne 2. avgusta 2013 o izvajanju Direktive 2009/125/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede zahtev za okoljsko primerno zasnovo grelnikov prostorov in kombiniranih grelnikov;
- Uredbo komisije (EU) št. 814/2014 z dne 2. avgusta 2013 o izvajanju Direktive 2009/125/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede zahtev za okoljsko primerno zasnovo grelnikov vode in hranilnikov tople vode;

- Delegirano uredbo komisije (EU) št. 811/2013 z dne 18. februarja 2013 o dopolnitvi Direktive 2010/30/EU Evropskega parlamenta in Sveta glede energijskega označevanja grelnikov prostorov, kombiniranih grelnikov, kompletov grelnika prostorov, naprave za uravnavanje temperature in sončne naprave ter kompletov kombiniranega grelnika, naprave za uravnavanje temperature in sončne naprave.

EN 12102-1 določa uporabo precizijskih ali inženirskih metode za določanje ravni zvočnih moči. Za določanje ravni zvočnih moči se priporočajo naslednji standardi:

- Meritve v odmevnici na podlagi standardov:
 - o **EN ISO 3471.** Akustika Določanje ravni zvočnih moči in ravni zvočne energije virov hrupa z zvočnim tlakom – Precizijska metoda za odmevnice (ISO 3741:2010);
 - o **EN ISO 3743.** Akustika Ugotavljanje ravni zvočnih moči in ravni zvočne energije virov hrupa z zvočnim tlakom – Inženirske metode za majhne premične vire v odmevnih poljih 1. del: Primerjalna metoda za preskušanje v prostoru z zvočno refleksijskimi (odbojnimi) stenami;
 - o **EN ISO 3747** Akustika Ugotavljanje ravni zvočnih moči in ravni zvočne energije virov hrupa z merjenjem zvočnega tlaka – Inženirska/informativna metoda za uporabo na kraju samem (in situ) v odmevnem okolju (ISO 3747:2010). EN ISO 3747 se uporabi lahko kadar so izpolnjeni pogoji za inženirsko natančnost;
- Meritve v pretežno prostem polju in odbojno podlago skladno z:
 - o **EN ISO 3744.** Akustika Ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem zvočnega tlaka – Inženirska metoda v pretežno prostem polju nad odbojno ravnino (ISO 3744:2010);
 - o **EN ISO 3745.** Akustika Ugotavljanje ravni zvočnih moči in ravni zvočne energije virov hrupa z merjenjem zvočnega tlaka – Precizijska metoda za gluhe in polgluhe prostore (ISO 3745:2012);
- Meritve na podlagi zvočne intenzitete v prostem polju:
 - o **SIST EN ISO 9614-1:2009.** Akustika – ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem jakosti zvoka – 1. del: Merjenje na diskretnih točkah (ISO 9614-1:1993);
 - o **SIST EN ISO 9614-2:1997.** Akustika – ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem jakosti zvoka – 2. del: Zvezno merjenje po ploskvi;
 - o **SIST EN ISO 9614-3:2009.** Akustika – ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem jakosti zvoka – 3. del: Precizijska metoda zveznega merjenja po ploskvi (ISO 9614-3:2002).

Obratovalni pogoji pri meritvah ravni zvočne moči: Standard EN 12102-1 za meritve ravni zvočnih moči predvideva uporabo različnih industrijskih in laboratorijskih standardov za meritve ravni zvočne moči. Ti omogočajo izvedbo pri katerikoli obratovalnih pogojih (temperatura, vlažnost, pretok,...). Za potrebe primerjave med različnimi napravami, za potrebe dokazovanja izpolnjevanja zahtev različnih predpisov in za potrebe certificiranja se ravni zvočnih moči določijo skladno s pogoji, ki so navedeni

v EN 14511-2. EN 14511-2 je sicer standard, ki se uporablja za določanje energetske učinkovitosti toplotnih črpalk.

Tudi izpolnjevanje Uredb komisije (EU) št. 813/2013 in št. 814/2013 ter Delegirane uredbe komisije (EU) št. 811/2013 se dokazuje na podlagi ravni zvočne moči določene skladno z EN 12102 pri nazivnih obratovalnih pogojih, ki so določeni po EN 14511-2. EN 14511-2 pozna več obratovalnih pogojev, vendar se za potrebe meritev ravni zvočne moči črpalk uporablja pogoj, ki se v tehničnih specifikacijah tipično navaja kot A7W35. Skladno z EN 14511-2 se meritve ravni zvočne moči toplotnih črpalk tako izvajajo pri pogoju **7(6) °C /30-35 °C**. Pri tem pogoju se zajema zrak s temperaturo suhega termometra 7 °C in vlažnega termometra 6 °C, temperatura vode pa mora biti 30 °C na vstopu in 35 °C na izstopu iz izmenjevalca (kondenzatorja).

Toplotne črpalke glede na temperaturo vode na izstopu lahko delimo na nizkotemperaturne, ki lahko ogrejejo vodo do temperature okoli 45 °C in visokotemperaturne črpalke, ki lahko ogrejejo vodo do 70 °C ali več. Dodatni obratovalni pogoji za visokotemperaturne toplotne črpalke pri katerih bi bilo potrebno poročati o ravni zvočne moči niso predvideni. Nazivna raven zvočne moči se tudi pri visokotemperaturnih črpalkah nanaša na pogoj A7W35 in so v tem smislu izenačene z nizkotemperaturnimi črpalkami.

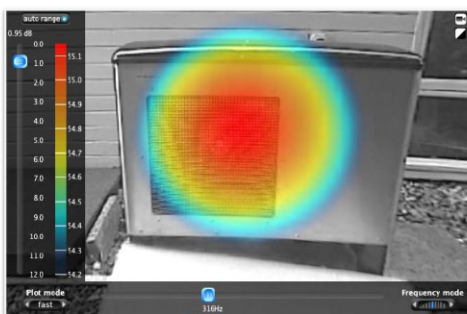
Pri meritvah ravni zvočne moči se izločijo zvočni signali kjer pride do sreženja in odtaljevanja do katerega lahko pride že pri 7(6) °C, saj je skladno s standardom potrebno izločiti del meritev pri katerih obratovanje vira hrupa ni stalno. Iz meritev ravni zvočne moči so tako izključeni prehodni pojavi, ki se nanašajo na odpiranje in zapiranje ventilov, zagon črpalke, sreženje in odtaljevanje.

V tem smislu zvočna moč oziroma emisijska raven črpalk, ki jo uredbe EU št. 813/2013, št. 214/2013 in št. 811/2013 omejujejo ni usklajena z zahtevami imisijskih normativov, ki zahtevajo podatek, ki se nanaša na največjo zmogljivost naprave oziroma obratovanje, ki pomeni največjo obremenitev okolja.

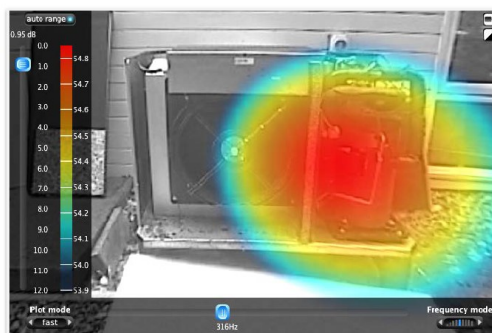
2.3. Pregled hrupnih virov v sklopu toplotne črpalke katerih identifikacija je lahko podlaga za izvedbo ukrepov varstva pred hrupom

Ena izmed pomembnejših akustičnih preiskav, ki se uporablja za identifikacijo virov hrupa so meritve z akustično kamero. Rezultati meritev in analiz z akustično kamero je akustična slika na kateri območja obarvana z rdečo barvo kažejo na dele naprave, kjer se nahajajo pomembnejši viri hrupa. Akustična slika pri običajnem obratovanju toplotne črpalke tipično pokaže, da sta glavna vira hrupa pri toplotni črpalci ventilator pri odprtem in kompresor pri zaprtem ohišju. Primer akustične slike je prikazan na sliki 2.3.1.

Primarna oziroma dominantna vira hrupa zunanje enote toplotne črpalke zrak-voda sta ventilator in kompresor. Sekundarna vira hrupa sta uparjalnik in ekspanzijski ventil. Uparjalnik pomembno vpliva na obratovanje ventilatorja in kompresorja. Vpliv uparjalnika in ekspanzijskega ventila je pomemben tudi pri prehodnih pojavih kot sta sreženje in cikel odtaljevanja.



Picture 2-2. Noise output from typical ASHP, casing on



Picture 2-3. Noise output from typical ASHP, casing off

Slika 2.3.1.: identifikacija pomembnejših virov hrupa v sklopu toplotne črpalke zrak-voda s pomočjo akustične kamere (vir: <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a74da0a40f0b65c0e844fdb/3307-acoustic-noise-air-source-heat-pumps-1.pdf>).

Ventilator

Aksialni ventilator ustvarja pretok zraka skozi uparjalnik. Na emisije hrupa aksialnega ventilatorja vplivajo vrtilna frekvenca ventilatorja, premer ventilatorja in oblika lopatic, ki so lahko zakrivljene naprej ali nazaj.

Emisije hrupa so odvisne tudi od pretoka zraka in tlačne razlike, ki jo mora premagovati ventilator. Na tlačne in pretočne razmere bistveno vplivajo strukture, ki se nahajajo ob ventilatorju vključno z uparjalnikom. Na emisije hrupa vpliva tudi lastna dinamika ventilatorja in vpliv pogonskega motorja

ter krmiljenje. Pomemben delež hrupa ventilatorja nastane na zgornjem delu lopatic ventilatorja, saj je tam obodna hitrost ventilatorja najvišja.

Karakteristika hrupa aksialnega ventilatorja je kompleksna, saj je ventilator vir širokopasovnega aerodinamičnega hrupa, diskretnega in ozkopasovnega tonalnega hrupa. Širokopasovni aerodinamični hrup nastane zaradi: tlačnih fluktuacij na mejnih plasteh lopatice, na robovih in vrhu lopatic in zaradi turbulence in pojava zastojnih vrtincev v kaskadi rotorskih lopatic.

Diskretni toni nastanejo zaradi delovanja spreminjajočih se sil na lopaticah ventilatorja. Spreminjajoče se sile nastanejo predvsem zaradi ne stacionarnega turbulentnega toka zraka na vstopu v ventilator in interakcije z uparjalnikom. Diskretni toni se pojavijo pri frekvencah, ki so povezane z vrtilno frekvenco ventilatorja in številom lopatic.

Za aksialne ventilatorje je značilen tudi pojav sub-harmoničnih pasovnih tonov zaradi odlepljanja vrtincev od roba lopatic na tlačni strani.

Kompresor

V kompresorju se hladivo oziroma delovno sredstvo komprimira in ogreje. Kompresor omogoča tudi pretok hladiva. Poznamo več vrst kompresorjev glede na način delovanja kot so na primer batni, kotalni, vijačni, lamelni, spiralni, rootsov in vijačni ter centrifugalni kompresor. Zaradi visoke učinkovitosti, enostavnega vzdrževanja, nižjih ravni vibracij in hrupa se na področju toplotnih črpalk uporabljajo večinoma spiralni (scroll) kompresorji.

Hrup kompresorja je odvisen od vrste kompresorja, moči kompresorja (močnejši kompresorji imajo večjo zvočno moč), konstrukcije kompresorja (uporabljenih materialov, oblike, velikosti, ohišja in cevi) in obratovalnih pogojev (temperatura, tlak, pretoka).

Na akustične lastnosti kompresorja vplivajo še številni parametri kot so:

- vrtilna frekvenca kompresorja, ki jo določa pogonski motor;
- pretok, ki je sorazmeren vrtilni frekvenci kompresorja;
- navor, ki je odvisen od hitrosti motorja in trenja. Povečan navor lahko pomeni večjo raven vibracij;
- tlačne pulzacije fluida, ki so odvisne od vrste kompresorja in se prenesejo na cevi in ohišje kompresorja v obliki vibracij. Vibrirajoče površine del energije nato izsevajo v obliki zvoka v okolico in
- hrup kompresorja, ki je odvisen tudi od njegove strukturne dinamike, krmiljenja in vrste pogonskega motorja.

Spekter hrupa kompresorja je sestavljen iz širokopasovnega dela in diskretnih tonov, ki so posledica vzbujanja strukture. Za razliko od ventilatorja je prispevek diskretnih tonov k skupni zvočni energiji, ki jo izseva kompresor pomemben. Frekvence posameznih tonov so povezane z vrtilno frekvenco

kompresorja in njenimi višjimi harmoniki ter z lastno dinamiko ohišja, nogic in cevi kompresorja. Akustične lastnosti kompresorja so odvisne tudi od vgradnje kompresorja in načina pritrditve cevi na kompresor ter uporabljenih materialov.

V splošnem se več zvočne energije izseva iz delov kompresorja, ki imajo večjo površino, pri tem je potrebno biti pozoren tudi na površine s katerimi je kompresor v stiku in njihovo lastno dinamiko. Brez ustrezne proti vibracijske zaščite pride do prenosa vibracij na okoliške površine z večjo površino kar pomeni dodatno sevanje akustične energije.

Uparjalnik

Uparjalnik je komponenta toplotne črpalke zrak-voda, kjer se toplota iz zunanjega zraka prenese do hladilnega sredstva. Najpogostejši tip uparjalnika je sestavljen iz cevi s krožnim presekom ter reber oziroma lamel. Lamele so v stiku s cevmi in ustvarijo povečano površino kjer lahko pride do prenosa toplote. Uparjalnik pomembno vpliva na tlačne upore, ki jih mora premagovati ventilator ter delovno točko ventilatorja in kompresorja. Oblika lamel ali cevi uparjalnika vpliva na obratovalno stanje ventilatorja in posledično na izsevan hrup. Uparjalnik ima zato posreden vpliv na zvočno moč naprave.

Uparjalnik in ventilator je potrebno obravnavati kot povezan sistem, ki vpliva na delovanje toplotne črpalke in emisije hrupa. Uparjalnik ustvarja turbulenten tok zraka na sesalni strani ventilatorja, ki potem povzroča spreminjajoče se sile na ventilator, kar pomeni povečano raven hrupa. Na emisije hrupa takšnega sistema vpliva več dejavnikov kot so razdalja med uparjalnikom in ventilatorjem, kot med uparjalnikom in ventilatorjem, oblika lamel uparjalnika, velikost uparjalnika in gostota lamel. Pri prehodu zraka skozi uparjalnik pride do dodatnih tlačnih izgub zaradi česar ventilatorji ne morejo obratovati v nazivni delovni točki.

Pretok zraka in izmenjava toplote med zrakom in delovnim sredstvom v uparjalniku sta odvisni tudi od nabiranja sreža na uparjalniku, ki ima pomemben vpliv na emisije hrupa. Na pretok zraka skozi sistem vplivajo tudi drugi elementi črpalke kot so elektronske komponente, hladilne komponente, ohišje črpalke in ohišje motorja.

Vpliv ventilov

Z vidika hrupa je pomembno delovanje štiri- ali tri- potnega ventila, ki omogoči obratno delovanje toplotne črpalke, ki je potrebno za odtaljevanje sreža. Ob delovanju ventila se naglo spremenita tlak in temperatura hladiva, pri čemer se tlačna motnja prenese v okolico kot impulz, ki izvira iz elektronskega ekspanzijskega ventila.

2.4. Pregled pomembnejših emisijskih lastnosti toplotne črpalke, ki vplivajo na emisije hrupa

2.4.1. Usmerjenost

Zvočna moč je enaka energiji zvočnega valovanja na časovno enoto. Zvočna moč je osnovni parameter s katerim opišemo emisije hrupa toplotne črpalke. Na osnovi zvočne moči lahko izračunamo raven zvočnega tlaka na imisijskem mestu. Izračun je kompleksen saj je potrebno upoštevati številne parametre, ki vplivajo na razširjanje zvoka. Med temi je tudi usmerjenost vira pri čemer ločimo vpliv faktorja usmerjenosti in vpliv indeksa usmerjenosti.

Faktor usmerjenosti

Večina virov hrupa seva v eno smer več zvočne energije kakor v druge smeri in kaže usmerjeno sliko sevanja. Pri usmerjenem viru imamo različne ravni na istem radiju od centra zvočnega vira kar ponazorimo s faktorjem usmerjenosti. Faktor usmerjenosti je frekvenčno odvisna količina, ki je po navadi bolj izrazit pri visokofrekvenčnih virih. V nizkofrekvenčnem območju ter v realnem okolju, kjer prihaja do odbojev zvoka usmerjenost ni izrazita in je pogosto ne upoštevamo. V tem primeru pravimo, da je vir točkast, ki seva zvočno energijo neodvisno od prostorskega kota. Tudi v primeru toplotnih črpalk se faktor usmerjenosti večinoma zanemari. Čeprav se zdi, da so emisije hrupa večje v smeri v kateri potuje tok zraka, torej pred ventilatorjem zunanje enote toplotne črpalke.

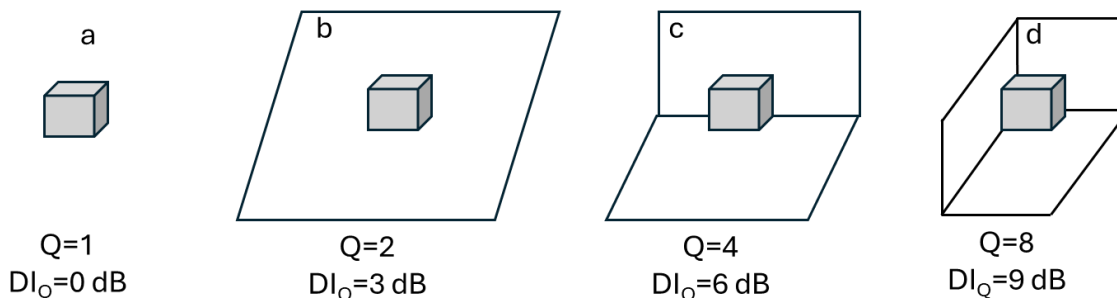
Indeks usmerjenosti

Indeks usmerjenosti upošteva prisotnost odbojnih površin v bližini vira. Zaradi odboja zvoka je raven zvočnega tlaka na mestu imisije večja kot bi bila, če odbojnih površin ne bi bilo. Zaradi odbojnih površin je potrebno poleg direktnega valovanja, ki ga izseva vir upoštevati še odbojni del. Povečanje ravni zvočnega tlaka zaradi odbojnih površin v bližini vira ponazorimo z indeksom usmerjenosti DI_Q :

$$DI_Q = 10 \log_{10}(Q)$$

kjer je Q razmerje med prostorskim kotom 4π in prostorskim kotom kamor se zvočno valovanje lahko razširja. Indeks usmerjenosti je odvisen od števila odbojnih površin v okolici zvočnega vira (na razdalji, ki je manjša ali enako od 3 m), kot je prikazano na sliki 2.4.1.1. Iz slike lahko razberemo, da je indeks usmerjenosti za vir, ki se nahaja na odbojnih tleh enak 3 dB(A), medtem ko je indeks usmerjenosti za vir, ki se nahaja v kotu med tremi stenami enak 9 dB(A). To pomeni, da lahko v primeru, če vir postavimo v kot pričakujemo 6 dB(A) višje ravni hrupa na imisijskem mestu, kot če se

vir nahaja le na odbojnih tleh. Toplotne črpalke se večinoma postavljajo ob fasade objektov, kjer je indeks usmerjenosti enak 6 dB(A).



Slika 2.4.1.1.: indeks usmerjenosti pri postavitvi vira v a) prostem polju, b) na odbojnih tleh, c) na stiku med dvema odbojnima površinama, d) v kotu med tremi odbojnimi površinami.

2.4.2. Psihoakustika, frekvenčna karakteristika, tonalnost, amplitudna fluktuacija, nizkofrekvenčni hrup

Hrup toplotnih črpalk lahko povzroča vznemirjenost. V splošnem lahko lastnosti zvoka, ki povzročajo vznemirjenost, razdelimo v dve skupini. V prvo skupino uvrščamo parametre, ki so povezane z amplitudo zvočne motnje kot je na primer A-vrednotena raven zvočnega tlaka (L_{pA}).

V drugo skupino uvrščamo psihoakustične parametre oziroma značilke, kot so na primer psihoakustična glasnost (loudness), ostrina (sharpness), grobost (roughness) in tonalnost (tonality), s katerimi skušamo dodatno opisati lastnosti zvoka povezane s subjektivnim zaznavanjem zvoka in vznemirjenostjo zaradi hrupa.

Vznemirjenost zaradi zvočnih signalov pogosto določimo kot ponderirano kombinacijo omenjenih značilk iz prve in druge skupine. Relevantne značilke in njihove uteži lahko določimo na podlagi slušnih testov.

Prisotnosti poudarjenih tonov in izrazitih impulzov v hrupu, dinamika hrupa in frekvenčna karakteristika hrupa so pomemben del okoljske akustike in ocenjevanja hrupa v okolju.

Zaznavanje zvoka v človeškem slušnem sistemu

Človeški slušni sistem sestavljata uho (zunanje, srednje in notranje uho) in slušni (auditorni) živec. Zaznavanje zvoka temelji na vibracijah, ki se prenašajo po mehanskem sistemu sestavljenemu iz

bobniča, slušnih koščic srednjega ušesa (kladivca, nakovalca in stremenca), ovalnega okenca in bazilarne membrane, ki je nazadnje sklopljena s slušnim živcem.

Funkcija zunanjega ušesa je, da sprejema zvočno energijo, določi lokacijo zvočnega vira in ojača zvočna valovanja s frekvencami okoli 4000 Hz. V srednjem ušesu, se zvočno valovanje preko vibracij bobniča prenese v vibracije slušnih koščic. S tem se poveča učinkovitost prenosa zvoka, saj je omogočena impedančna sklopitev med zunanjih ušesom, ki je napolnjen z zrakom in notranjih ušesom, ki je napolnjen s tekočino. V notranjem ušesu se vibracije pretvorijo v električne impulze, ki se prenašajo preko slušnega živca do možganov, kjer se zvok zazna.

Odziv bazilarne membrane je povezan z njeno strukturo in geometrijo in je odvisen od frekvenčne karakteristike zvočnega signala, kar pomeni, da zvočni signal povzroča resonančne odzive na različnih mestih vzdolž bazilarne membrane. Zvočni signal se iz časovne domene na ta način prenese v frekvenčno domeno znotraj kritičnih pasov. Ta lastnost bazilarne membrane je hkrati osnova za pojave, ki jih obravnava psihoakustika.

Kritična pasovna širina

Pasovni širini, znotraj katere zvok zaznavamo kot ton, pravimo kritična pasovna širina. Človeški slušni (auditorni) sistem ni zmožen ločiti med signali katerih frekvence se nahajajo znotraj kritične pasovne širine. Pravimo da kritična pasovna širina predstavlja ločljivost ušesa za zaznavanje istočasno predvajanih tonov. Če imamo dva tona znotraj ene kritične pasovne širine, se zgodi, da slišimo le enega in sicer tistega, ki je glasnejši. Če sta oba tona enako glasna, potem navadno slišimo le tistega z nižjo frekvenco. Temu pojavu pravimo učinek maskiranja.

Šele ko sta tona dovolj narazen, oziroma v različnih kritičnih frekvenčnih pasovih, ju zaznamo kot dva ločena tona. Za dano frekvenco, kritični frekvenčni pas pomeni najmanjše frekvenčno območje, ki aktivira isti del bazilarne membrane.

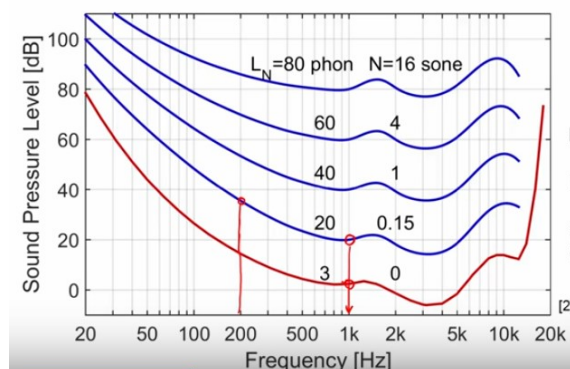
Tudi različni eksperimenti in slušni testi pokažejo, da človeški sistem za zaznavanje zvoka zvočne signale, ki so si blizu v frekvenčni domeni razdeli v frekvenčne pasove. Slušni sistem si lahko predstavljamo tudi kot vrsto mikrofонов. Vsak mikrofón pa lahko spremlja samo določeno frekvenčno območje, kar je odvisno od njegovega položaja na bazilarni membrani. Torej gre za zaporedje pasovnih filtrov.

Zwicker je slišno frekvenčno območje na podlagi eksperimentov razdelil v 24 kritičnih frekvenčnih pasov. Kritične pasove podajamo v enotah, ki jim pravimo Bark. Po Zwickerjevem modelu je pri nizkih frekvencah (do 500 Hz) pasovna širina auditornega filtra enaka 100 Hz, pri visokih frekvencah pa znaša okoli 20 % centralne frekvence. Podobno je pri terčnem spektru, kjer je pasovna širina enaka 23 % centralne frekvence in se največkrat uporablja za analizo zvočnih signalov iz okolja.

Psihoakustična glasnost – Loudness

Slišnost zvoka je povezana s frekvenčno karakteristiko zvočnega valovanja in njegove jakosti, ki jo izrazimo s količino, ki ji pravimo raven zvočnega tlaka (L_p) v decibelih (dB). Zvok katerega jakost se nahaja med mejo slišnosti in pragom bolečine lahko opišemo tudi z njegovo glasnostjo.

Glasnost se nanaša na občutek oziroma zaznavanje zvoka, ki ga lahko opišemo s skalo, ki se razteza v razponu od tiho do glasno. Glasnost testnega tona lahko določimo tako, da ga primerjamo z glasnostjo referenčnega tona s frekvenco 1000 Hz, ki se nam zdi enako glasen kot testni ton. Poskus ponovimo tudi za tone z različnimi frekvencami in jakostjo. Na ta način lahko izmerimo krivulje oziroma konture, ki povezujejo tone z enako glasnostjo. Konture enake glasnosti so prikazane na sliki 2.4.2.1. Krivulje enake glasnosti sta prva izmerila Fletcher in Munson.



Slika 2.4.2.1.: izofone oziroma konture enake glasnosti (vir: www.ce.cit.tum.de/aip).

Če pogledamo krivulje enake glasnosti, ki smo jih dobili na podlagi primerjave, ugotovimo, da se nam ton s frekvenco 200 Hz in jakostjo 35 dB zdi enako glasen kot ton s frekvenco 1000 Hz in jakostjo 20 dB. Oba tona ležita na krivulji enake glasnosti oziroma imata enako raven zvočnega tlaka (L_N), ki jo izrazimo v fonih. Pri nizkih frekvencah se konture enake glasnosti dvignejo do visokih ravni zvočnega tlaka. Meja slišnosti se nahaja pri krivulji z glasnostjo 3 fonov. Velike razlike med nakloni krivulj enake glasnosti v območju pod 1000 Hz so bile tudi razlog za uvedbo npr. A ali C vrednotenih krivulj, ki se pogosto uporabljajo v akustiki.

Pri nizkih frekvencah opazimo, da so si krivulje enake glasnosti bližje kot pri višjih frekvencah. Pri frekvenci 1000 Hz je razlika med krivuljama enake glasnosti za 40 fonov in 60 fonov 20 dB. Pri frekvenci 30 Hz pa ta razlika znaša le okoli 10 dB.

Sedaj nas zanima za koliko moramo povečati raven zvočnega tlaka (L_p) tona s frekvenco 1000 Hz, da se glasnost podvoji v primerjavi z začetno jakostjo istega tona. Pri referenčni jakosti, ki je enaka 40 dB velja, da, če hočemo glasnost povečati za faktor 2, potem moramo povečati jakost oziroma raven zvočnega tlaka za 10 dB. Povezava med ravniyo zvočnega tlaka in glasnostjo pa ni linearna. Pri ravneh zvočnega tlaka, ki so nižje od 40 dB, krivulja začne padati. Tako npr. ton z jakostjo 20 dB povečamo

le za 3 dB in se nam bo zdel dvakrat bolj glasen. To pomeni, da se bo glasnost tona s frekvenco 1000 Hz pri povečanju jakosti od 20 dB na 23 dB, povečala za dvakrat. Zaradi bolj razumljivega prikaza so uvedli še glasnost, ki jo izražamo v sonih (N). Pri tem velja, da ima ton, ki je dvakrat bolj glasen od referenčnega tona, tudi dvakrat večjo vrednost glasnosti v sonih.

Zvoki, ki jih poznamo iz okolice pa imajo veliko večjo pasovno širino oziroma vsebujejo tone in šum. V splošnem dojemamo širokopasovne oziroma realne signale kot glasnejše od tona pri istih ravneh zvočnega tlaka.

Na podlagi slušnih testov je bilo ugotovljeno, da na občutek glasnosti vpliva več parametrov: frekvenčna karakteristika, pasovna širina, trajanje signala, jakost in dinamika. V strokovni skupnosti je najbolj sprejet Zwickerjev model glasnosti, ki vključuje jakost signala in vpliv maskiranja. Metoda je sprejeta tudi s strani mednarodne organizacije za standardizacijo ISO.

Ostrina – Sharpness

Ostrina (ang. sharpness) zvoka je psihoakustična količina s katero opišemo zaznavanje zvoka v katerem so prisotne visoko frekvenčne komponente zvoka. Večja ostrina pomeni, da je v signalu prisotnih več visokofrekvenčnih komponent zvoka. Enota za merjenje ostrine je acum. En acum ima po dogovoru čisti ton s srednjo frekvenco 1000 Hz in jakostjo 60 dB. Izračun ostrine se izvaja skladno s standardom DIN 45692, ki je prevzel metodo, ki sta jo predlagala Zwicker in Fastl.

Grobost – Roughness

Grobost se nanaša na zaznavanje zvoka v katerem je prisotna hitra amplitudna modulacija. Poleg amplitudne modulacije, občutek grobosti povzroča tudi frekvenčna modulacija. Matematično opišemo grob zvok kot zvok katerega ovojnice se spreminja s frekvenco med 20 in 300 Hz. Enota za grobost je asper. Grobost je eden najpomembnejših parametrov, ki opisuje subjektivno zaznavanje zvoka na podlagi slušnih testov.

Moč fluktuacij - Fluctuation strength

Moč fluktuacij je podobna grobosti, vendar skuša kvantificirati zaznavo zvoka, ki je amplitudno moduliran z nižjo frekvenco modulacije (do 20 Hz). Maksimalni učinek se doseže pri frekvenci modulacije okoli 4 Hz. Moč fluktuacij izračunamo po modelu, ki ga je predlagal Fastl.

Tonalnost – Tonality

Zvok zaznamo kot tonalen, če vsebuje izrazite tone ali pa, ko gre za ozkopasoven šum. Hrup, ki vsebuje tone je bolj moteč kot zvok brez tonov. Poznamo več algoritmov za določanje tonalnosti. Ti lahko temeljijo na psihoakustični analizi ali pa frekvenčni analizi s hitro Fourierjevo transformacijo.

Slušni testi

Eden izmed načinov s katerimi lahko ocenimo vznemirjenost zaradi različnih virov hrupa so slušni testi. Na ta način je mogoče identificirati najbolj relevantne akustične parametre, ki vplivajo na vznemirjenost. Rezultat slušnih testov je indeks vznemirjenosti, ki kaže, kako lahko različni akustični parametri pojasnijo subjektivne odzive poslušalcev na motnjo. Slušni testi so metoda, ki se uporablja v številnih raziskavah na področju akustike naprav, vendar indeksa vznemirjenosti za hrup toplotnih črpalk trenutno še ne poznamo. Pomanjkljivost teh testov je, da temeljijo na kratkotrajnih zvočnih posnetkih, zaradi česar niso primerni za ocenjevanje dolgotrajne vznemirjenosti.

V sklopu slušnih testov, ki so jih izvedli pri projektu Annex 51 je bilo ugotovljeno, da je vznemirjenost odvisna od obratovalnih pogojev in tudi od usmerjenosti toplotne črpalke. V splošnem velja, da vznemirjenost zaradi toplotnih črpalk na podlagi slušnih testov bolje popišemo, če poleg A- vrednotene ravni zvočnega tlaka uporabimo še druge akustične parametre kot so glasnost, ostrina, grobost, tonalnost in moč fluktuacij, upoštevati pa je potrebno tudi značilke s katerimi opisujemo nizkofrekvenčni zvok (npr. C-vrednotena raven zvočnega tlaka). Ocenjevanje vznemirjenosti na podlagi enega akustičnega parametra večinoma ni ustrezno.

Ocenjevanje hrupa v okolju

Določene akustične značilnosti hrupa lahko povečajo vznemirjenost zaradi hrupa, ki je lahko bistveno večja kot bi pričakovali na podlagi izmerjene ravni hrupa ali na podlagi primerjave med izmerjeno ravno hrupa in hrupom ozadja ali ravno hrupa zaradi bolj znanih virov kot so prometni viri. V takih primerih je potrebno pri ocenjevanju hrupa določiti ocenjeno raven hrupa na mestu imisije, ki jo dobimo tako, da izmerjeni ravni hrupa zaradi obratovanja vira prištejemo popravke.

Tudi mejne ravni se običajno nanašajo na ocenjeno raven hrupa. Popravki se nanašajo na akustične oziroma psihoakustične značilnosti signala in lahko upoštevajo:

- prisotnost poudarjenih tonov,
- prisotnost izrazitih impulzov,
- intermitentnost zvoka,
- frekvenčno karakteristiko,
- čas trajanja,
- povečano občutljivost za hrup v različnih obdobjih dneva,
- druge karakteristike hrupa.

Z vidika ocenjevanja je pomembna metoda s katero se določajo popravki, vrednost popravka in kateri popravki se upoštevajo za določanje ocenjene imisijske ravni hrupa. V splošnem se uporabljata dve skupni metod za določanje posameznega popravka:

- subjektivne metode in
- objektivne oziroma referenčne metode, ki temeljijo na naprednejši digitalni obdelavi signala.

Subjektivne metode:

Pri subjektivnih metodah se mora strokovnjak odloči o prisotnosti določene akustične značilnosti hrupa na podlagi izkušenj, vrste vira in z upoštevanjem lokalnih posebnosti okolja v katerega je umeščen vir hrupa.

Uporaba popravka na podlagi subjektivne presoje je pomembna v primeru, ko gre za projektiranje in umeščanje novega vira hrupa v okolje oziroma, ko gre za napoved prihodnjega stanja. Pri tem bi bilo potrebno premisliti o tem kako bo nov vir hrupa zaradi svojih akustičnih značilnosti spremenil obstoječe zvočno okolje.

Določanje popravka na podlagi subjektivne presoje je pomembna tudi v primeru, ko ne poznamo uveljavljenih objektivnih metod. Na primer, ko hrup na mestu emisije, ne vsebuje poudarjenih tonov ali poudarjenih impulzov, ni intermitenten, vendar je jasno razpoznaven kljub hrupu ozadja. To bi se na primer lahko upoštevalo v primeru prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa in amplitudne modulacije, v primeru prisotnosti poudarjenih impulzov, ki jih ni mogoče kategorizirati na podlagi predpisov, v primeru prehodnih pojavov (tuljenje, sikanje, cviljenje, udarci) ali pri obravnavi sekundarnih učinkov hrupa kot so vibracije.

Objektivne oziroma referenčne metode

Objektivne metode temeljijo na naprednejši obdelavi akustičnih signalov in uporabi akustičnih modelov ali pa na predpisih zakonodajalca. Objektivne metode za določanje popravkov so primarna izbira, vendar pa njihova uporaba zahteva visoko usposobljenega strokovnjaka, primeren inštrumentarij in programsko opremo. Uporaba objektivnih metod je pogosto povezana tudi z velikim časovnim vložkom, saj so poleg dolgotrajnih meritev potrebne dodatne analize, ki vključujejo iskanje primernih signalov ter izločanje neželenih akustičnih dogodkov in rezidualnega hrupa iz posnetih signalov.

Popravek zaradi **poudarjenih tonov** se lahko ugotovi z uporabo subjektivne metode, na voljo pa so tudi objektivne in referenčne metode. Rezultat metod je popravek zaradi poudarjenih tonov v velikosti med 0 in 6 dB. Objektivna metoda je bolj enostavna in primerna za identifikacijo tonov v frekvenčnem območju nad 500 Hz. Referenčne metode so primerne tudi za karakterizacijo posameznih tonov v nizkofrekvenčnem območju:

- objektivna metoda temelji na podlagi terčne frekvenčne analize ekvivalentne ravni hrupa v območju med 25 Hz in 10000 Hz skladno s standardom SIST ISO 1996-2:2017 (Dodatek K), katere uporaba je primernejša za identifikacijo tonov v frekvenčnem območju nad 500 Hz;
- referenčne metode za določanje popravkov zaradi poudarjenih tonov temeljijo na psihoakustičnem principu kritičnih pasov. Med referenčne metode štejemo:
 - o Metodo ISO/TS 20065:2022. Gre za metodo, ki jo predvideva tudi ISO 1996-2:2017 v prilogi J.
 - o Metodo opisano v DIN 45681, Draft maj 1992.
 - o Metodo opisano v standardu ISO 1996-2: 2007, priloga C.

Popravek zaradi **izrazitih impulzov** se lahko določi na podlagi subjektivne zaznave ali pa se uporabijo objektivne metode:

- kategorizacije impulzov, ki se določi s pomočjo standarda SIST ISO 1996-1 in časovnega intervala ponavljanja impulzov, ki je določen s Pravilnikom o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu;
- metode opisane v standardu ISO PAS 1996-3: 2022.

Popravek zaradi **intermitentnosti** hrupa:

- se uporablja v primeru, ko ima vir hrupa deluje v načinu vklop/izklop in je to jasno razpoznavno v primerjavi s hrupom ozadja.

Popravek zaradi **frekvenčne karakteristike** hrupa:

- v primeru prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa se uporabljajo popravki zaradi poudarjenih tonov ali pa se uporabljajo specifični postopki.

Popravek zaradi **povečane občutljivost za hrup v različnih obdobjih dneva**:

- v Nemčiji se uporablja popravek glede na dan in uro v tednu, ko je hrup še strožje omejen (delovni dnevi med 6:00 - 07:00 in med 20:00 – 22:00, nedelje in prazniki med 06:00 in 09:00, med 13:00 in 15:00 ter med 20:00 in 22:00);
- V Švici se uporablja popravek zaradi dela dneva in vrste vira znaša, ki znaša +5 dB v dnevnem času in +10 dB v nočnem času;
- v Avstriji se za stalen hrup, ki je posledica obratovanja industrijskih virov oziroma naprav uporablja popravek + 5 dB še posebej kadar vir obratuje v nočnem času;
- Na Nizozemskem so v dnevnem času dovoljene za 5 dB(A) višje ravni hrupa.

Popravek zaradi **drugih karakteristik** hrupa:

- kadar se v hrupu pojavljajo značilni dogodki, ki povzročajo vznemirjenost in jih ne moremo obravnavati z drugimi značilnostmi hrupa oziroma popravki.

2.4.3. Analiza obratovalnih pogojev

Emisije hrupa toplotne črpalke so povezane z različnimi pogoji pri katerih obratuje črpalka. Obratovalne pogoje toplotne črpalke lahko v grobem razvrstimo v naslednje kategorije:

- polna obremenitev;
- delna obremenitev;
- tih način ('silent') (obratovanje pri nižani kapaciteti in specifičnih hitrostih);
- tvorjenje sreža;
- odtaljevanje (prehodni pojav, ki je nujen za delovanje TČ zrak-voda);
- obratno delovanje in odtaljevanje in
- drugi prehodni pojavi, kot so na primer: zagon in izklop črpalke, sprememba obremenitve naprave zaradi povišane potrebe po toploti, modulacija zaradi inverterskega motorja, vklop obtočne črpalke, odtok vode ali vodnih kapljic s površine uparjalnika, vklop štiripotnega ventila in odziv ekspanzijskega ventila in strukturni hrup zaradi dinamike ohišja.

Hrup črpalke pri polni in delni obremenitvi ter v tistem načinu obratovanja (pri nižani kapaciteti in specifični hitrosti) lahko opišemo kot stalen in kontinuiran hrup.

Pri procesu odtaljevanja, obratnem delovanju, vklopu in izklopu naprave in drugih kratkotrajnih pojavih gre za prehodne akustične pojave katerih trajanje je časovno omejeno. Prehodni akustični pojavi se v sklopu emisijskih meritev zvočne moči črpalk ne obravnavajo, prav tako pa se ne obravnava vseh značilnosti akustičnega signala, vključno s prisotnostjo nizko frekvenčnega hrupa, poudarjenih tonov in izrazitih impulzov.

Nastajanje sreža na uparjalniku črpalke je prav tako prehodni pojav, ki pa ni kratkotrajen ampak gre za proces, ki traja lahko več ur.

Staranje naprave in spremembe mehanskih lastnosti sestavnih delov prav tako lahko vplivajo na emisije hrupa v daljšem časovnem obdobju.

V realnem okolju je delovanje črpalke odvisno od okoljskih razmer in potreb uporabnika, v povezavi s tem se obratovalne razmere pri katerih obratuje črpalka stalno spreminjajo. Toplotna črpalka se mora na te razmere prilagoditi zaradi česar ne more ves čas delovati v območju energijskega ali akustičnega optimuma.

2.4.3.1. Analiza obratovalnih pogojev glede na meteorološke pogoje (npr. temperatura in relativna vlažnost)

Emisije hrupa glede na temperaturo

V sklopu projekta Annex 51 »Acoustic Signatures of Heat Pumps« je bila za izbrano toplotno črpalko določena raven zvočne moči v laboratorijskih pogojih pri različnih temperaturah okoliškega zraka -7, +2, +7, in +12 °C. Temperatura vode na vstopu in izstopu iz sistema je bila 30 °C oziroma 35 °C v vseh primerih. Opravljena je bila tudi med-laboratorijska primerjava, v sklopu katerih so enake meritve izvedli v štirih različnih laboratorijih. Rezultati so prikazani v tabeli 2.4.3.1.1.

Tabela 2.4.3.1.1: rezultati medlaboratorijske primerjave meritev ravni zvočne moči toplotne črpalke zraka-voda, pri različnih temperaturah zraka (vir: Projekt Annex 51).

		Lab 1	Lab 2	Lab 3	Lab 4	Average
		Lw dB(A)	Lw dB(A)	Lw dB(A)	Lw dB(A)	Lw dB(A)
EN 14825	point A (-7 °C)	71.5	68.2	68.0	70.2	69.5
EN 14825	point B (2 °C)	68.9	67.2	68.1	68.6	68.2
EN 14825	point C (7 °C)	60.1	57.0	57.5	58.7	58.3
EN 14825	point D (12 °C)	58.1	54.4	55.1	56.3	56.0

V sklopu med-laboratorijskih primerjav je bil raztros izmerjenih ravni zvočni moči pri pogoju A7W35 med 57.0 dB in 60.1 dB. Raztros laboratorijskih meritev je bil prepoznan kot pomemben. To so pripisali slabo definiranim nastavitvam kot jih predpisuje EN 12102-1, ki jih je težko izpolniti v celoti. Do večjih raztrosov je prihajalo v nizko frekvenčnem delu spektra, predvsem pri večjih obremenitvah (npr. pri polni kapaciteti) in večjih pretokih ter pri nizkih temperaturah, ki jih sicer težko zagotoviti v laboratorijskih razmerah.

Raven zvočne moči toplotne črpalke v laboratorijskih pogojih je očitno odvisna od temperature. Razlika med nazivno zvočno močjo pri obratovalnih pogojih skladnih z EN 12102-1 Aneks A.4 (A7W35) in zvočno močjo izmerjeno pri temperaturi zraka -7 °C (A-7W35) za izbrano črpalko je bila 11.2 dBA. Razlika med deklarirano zvočno močjo pri obratovalnih pogojih skladnih z EN 12102-1 Aneks A.4 (A7W35) in zvočno močjo izmerjeno pri temperaturi zraka +2 °C (A2W35) za izbrano črpalko je bila 9.9 dBA.

Rezultati študije kažejo, da uporaba pogoja pri katerih se izvaja meritve zvočne moči skladno z EN 12102-1, Annex A.4 ne odraža realnega stanja in predlagajo modifikacijo tega standarda.

Emisije hrupa glede na relativno vlažnost

Relativna vlažnost zraka v okolici v povezavi s temperaturo ima pomembno vlogo pri tvorbi sreža na uparjalniku, ki je bolj pogosto v vlažnih in hladnih področjih. Srež pomeni toplotni upor med hladivom in okoliškim zrakom ter pomeni spremenjene pretočne in tlačne razmere za tok zraka. Sreženje je proces, ki se dogaja postopoma in gre za prehodni pojav, ki se ne obravnava v sklopu meritev zvočne moči naprave. Med sreženjem se raven zvočne moči postopoma povečuje preden se prične proces oddaljevanja. Povečanje je različno pri različnih proizvajalcih in je povezano tudi s krmiljenjem.

Emisije hrupa v odvisnosti od ponora toplote

Delovanje sistema s toplotno črpalko je odvisno od vrste ogrevalnega sistema v notranjosti objekta. Ogrevalni sistem določa temperaturo vode, ki jo mora zagotavljati toplotna črpalka.

Pri talnem ogrevanju mora črpalka zagotavljati temperaturo vode okoli 35 °C (pri projektirani temperaturi), pri sistemih z radiatorskim ogrevanjem pa tudi do 55 °C. Črpalke v sistemih, kjer je potrebno zagotoviti višjo temperaturo vode pri isti temperaturi zunanega zraka bodo delovale v drugi obratovalni točki kot nizkotemperaturne toplotne črpalke. Delovale bodo pri višjih hitrosti ventilatorja in kompresorja, kar je povezano z višjimi ravnmi hrupa.

V sklopu projekta Annex 51 je bila opravljena primerjava med pogojem A7W35 in A7W55 za isto toplotno črpalko. Za izbrano črpalko se je ob spremembi temperature dovodne vode s 35 °C na 55 °C raven zvočne moči povečala za 3 dB(A).

2.4.3.2. Analiza obratovalnih pogojev glede na čas obratovanja (dnevni, večerni, nočni čas)

Vremenski pogoji in zahteve porabnikov po toploti se spreminjajo tekom dneva. Obratovanje črpalke zato ni stalno in se spreminja tekom dneva. Spremembe obratovalnega stanja navadno pomenijo tudi spremembo v emisijah in imisijah hrupa, spremeni pa se tudi njegova frekvenčna karakteristika.

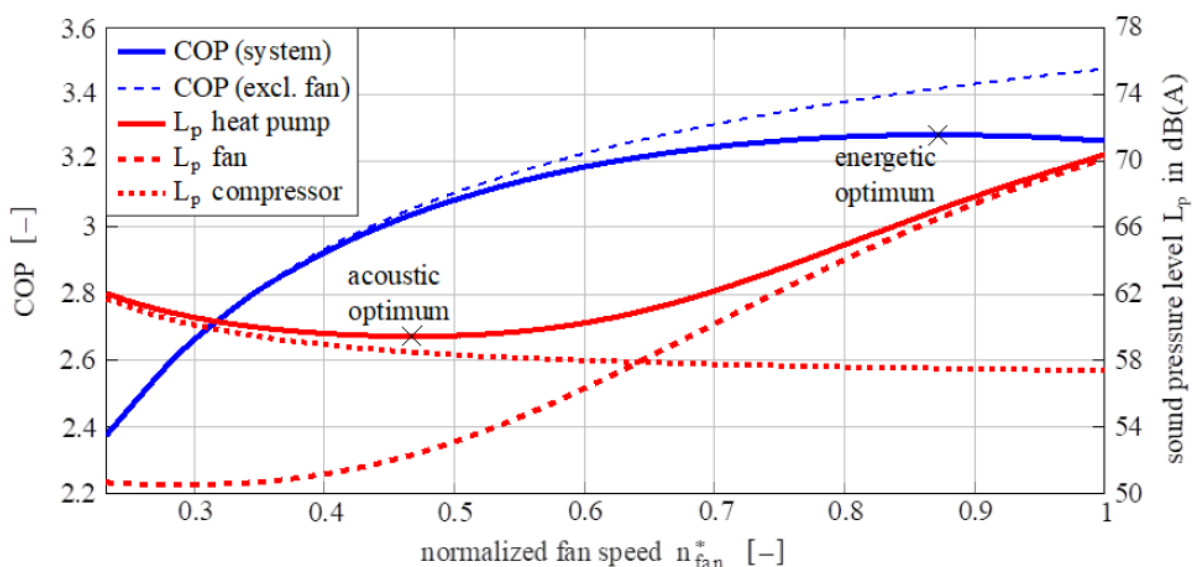
V nočnem času se pogosto uporablja tih način delovanja. Tih načinu delovanja se lahko doseže na primer z znižanjem hitrosti kompresorja in ventilatorja vendar se s tem zniža tudi toplotna moč toplotne črpalke.

Z uporabo tihega načina delovanja se raven zvočne moči toplotne črpalke zniža za okoli 5 dB(A). Zaradi spremembe hitrosti kompresorja in ventilatorja pa se spremeni tudi značaj zvoka.

2.4.3.3. Pomen delovne točke

Na sliki 2.4.3.3.1. je z modro neprekinjeno krivuljo prikazana povezava med energijsko učinkovitostjo toplotne črpalke in hitrostjo aksialnega ventilatorja. Na istem diagramu je z rdečo neprekinjeno črto prikazana povezava med ravno zvočnega tlaka črpalke in hitrostjo aksialnega ventilatorja. Največja učinkovitost se doseže pri večji hitrosti ventilatorja, najmanjša raven hrupa pa se doseže pri nižjih hitrostih ventilatorja. Na ta način vidimo, da visoka učinkovitost pomeni višjo raven hrupa, medtem ko so nizke ravni zvočnega tlaka povezane z nizko učinkovitostjo. Kljub temu vidimo, da z majhnim znižanjem učinkovitosti lahko dosežemo pomembno znižanje ravni hrupa.

Na podlagi prekinjenih črt rdeče barve, ki ločeno prikazujeta raven zvočnega tlaka zaradi ventilatorja in kompresorja vidimo, da je hrup obeh komponent obratno sorazmeren. Večja hitrost ventilatorja je povezana z naraščanjem njegove ravni zvočnega tlaka, medtem, ko hrup kompresorja pada. Povečana hitrost ventilatorja pomeni povečan masni pretok in večji prenos toplote na uparjalniku. Na ta način se lahko zmanjša hitrost kompresorja, saj ni potrebno dodatno zvišati tlak delovnemu sredstvu. Po drugi strani pa se zgodi obratno, če se zmanjša hitrost ventilatorja. V tem primeru začne naraščati hrup in vpliv kompresorja. To je pomembno v primeru, ko uporabljamo tih način delovanja z omejevanjem hitrosti ventilatorja.



Slika 2.4.3.3.1.: povezava med učinkovitostjo toplotne črpalke in hitrostjo ventilatorja (modra krivulja) in raven zvočnega tlaka kot funkcija hitrosti ventilatorja (rdeče krivulje). Toplotna črpalka doseže večjo učinkovitost pri večjih hitrostih ventilatorja, kar pa je povezano z višjimi ravni hrupa. Ob zmanjšani hitrosti ventilatorja se poveča prispevek kompresorja celotnemu hrupu toplotne črpalke (vir: Projekt Annex 51).

2.4.3.4. Obravnava prehodnih pojavov (npr. cikel odtaljevanja)

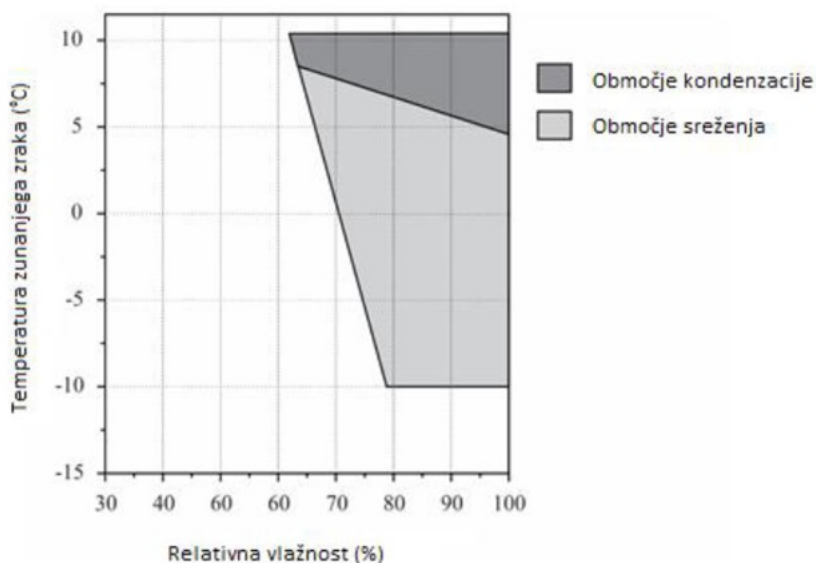
Sreženje

Izparevanje delovnega sredstva (hladiva) v uparjalniku je mogoče zaradi odvzema latentne toplote okoliškemu zraku. S tem pa pride do kondenzacije okoliškega zraka na zunanji strani uparjalnika.

Med ogrevalno sezono pa se v vlažnih in hladnih področjih na uparjalniku toplotne črpalke zrak-voda začne tvoriti srež. Sreženje se razlikuje od procesa kondenzacije, saj se nanaša na proces desublimacije vodne pare v zraku.

Srež postopoma zapolni prostore med lamelami in pomeni upor proti toku zraka. Zaradi tega se poveča obremenitev ventilatorja in se spremni karakteristika emitiranega zvoka.

Sreženje je proces, ki traja lahko več ur (lahko je tudi krajši). Največji vpliv na proces sreženja imata temperatura zunanjega zraka in njegova relativna vlažnost. Področje stanje zraka, kjer prihaja do kondenzacije oz. sreženja je prikazana na sliki 2.4.3.4.1. Na sreženje vplivajo še obremenitev toplotne črpalke in hitrost zraka ter geometrija uparjalnika in lamel vključno z velikostjo, prostorsko porazdelitvijo in obliko. Na sreženje vpliva tudi vrsta hladiva in masa hladiva v sistemu. V času sreženja se raven hrupa toplotne črpalke postopoma povečuje. Povečanje je različno za različne naprave.



Slika 2.4.3.4.1.: Območje kondenzacije in sreženja v odvisnosti od zunanje temperature in relativne vlažnosti zraka (vir: Poredoš, A. in ostali, Toplotne črpalke, 2017).

Cikel odtaljevanja

Pojav sreženja je nezaželen. Sreženje se prekine z vstopom črpalke v cikel odtaljevanja. V večini primerov, med ogrevalno sezono, toplotne črpalke zrak-voda potrebujejo periodično odtaljevanje. Tekom cikla odtaljevanja so emisije hrupa običajno nižje kot v času običajnega obratovanja toplotne črpalke zrak-voda ali pri procesu sreženja, vendar pa je lahko hrup v času odtaljevanja še vedno zaznaven, kar je povezano z njegovo frekvenčno karakteristiko in dinamiko.

Odtaljevanje poteka v več korakih:

- ventilator in kompresor se izklopita (pri nekaterih modelih se kompresor le upočasni);
- odpre se štiripotni ventil s čimer se obrne delovanje kompresorja, tako da se cikel začne na tlačni strani in se vroče hladivo iz kompresorja, namesto v kondenzator, vodi v uparjalnik. Pri tem se spremni tlak v različnih delih hladnega dela kroga, kar lahko vodi v zaznaven visokofrekvenčni (sikajoč) zvočni impulz, ki izvira iz elektronskega ekspanzijskega ventila;
- kompresor se nato zažene in ogreje uparjalnik, ki sedaj deluje kot kondenzator in oddaja toploto cevem in lamelam, ki se lahko odtalijo. Po odstranitvi sreža se kompresor zopet izključi;
- štiripotni ventil se zopet nastavi v prvotno stanje;
- pri nekaterih modelih se za nekaj časa zažene ventilator v obratni smeri, da se odstrani kondenz, ki se je nabral na lopaticah;
- po koncu odtaljevanja se zopet vključita kompresor in ventilator, ki se pospešita do normalnih obratovalnih hitrosti. Ko se kompresor izklopi in znova zažene, gre postopoma skozi vse vmesne frekvence vzbujanja, od katerih bodo nekatere verjetno vstopile v resonanco z lastnimi načini nihanja strukture toplotne črpalke. Pri večini sodobnih kompresorjev z invertersko tehnologijo, je ukrep za izogibanje takšnim težavam uporaba nadzorne strategije, tako da se hitrost kompresorja postopoma povečuje in hitro preskoči moteče frekvence.

2.4.3.5. Krmiljenje toplotne črpalke s spreminjanjem vrtljajev ali sistemom ON/OFF

Sprememba obratovalnih pogojev (sprememba vrtilne frekvence ventilatorja in kompresorja) pomeni, da se spremeni tako raven zvočne moči kot tudi oblika spektra.

Z višjo frekvenco ventilatorja in kompresorja in večjo obremenitvijo se poveča raven zvočne moči. Vendar povečevanje ravni zvočne moči z obremenitvijo (toplotno kapaciteto v kW) in vrtilno frekvenco kompresorja ni nujno linearno. Raven zvočne moči se povečuje hitreje kot narašča potreba po toploti. Pri projektu Annex 51 je bilo na primeru meritev ravni zvočne moči v laboratoriju prikazano, da je raven zvočne moči toplotne črpalke zrak-voda v območju 3–5 kW za vsaj 10 dB nižja kot v območju 5–15 kW. Povečanje potrebe po toplotni moči za faktor 2 do 3 je prineslo povečanje ravni hrupa za 10 dB (faktor 10). Na delovanje ventilatorja in kompresorja bistveno vpliva tudi

sreženje, kar se spet odraža v povišanih ravneh hrupa. V prihodnosti bi bilo smiselno v proces krmiljenja toplotne črpalke vključiti akustične podatke.

2.5. Pomembnejše ugotovitve

- Uredbe komisije EU omejujejo emisije hrupa toplotnih črpalk. Emisije hrupa se vrednotijo na podlagi ravni zvočne moči.
- Sosedsko pravo in predpisi s področja se nanašajo na imisije hrupa. Imisije hrupa se vrednotijo na podlagi ocenjene imisijske ravni zvočnega tlaka, ki se ne morejo enačiti z ravno zvočnega tlaka.
- Raven zvočne moči toplotnih črpalk zrak-voda določa skladno s standardom EN 12102 pri pogoju A7W35. Pri meritvah ravni zvočne moči se izločijo prehodni pojavi, ki se nanašajo na odpiranje in zapiranje ventilov, zagon in izklop črpalke, sreženje in odtaljevanje.
- Pri analizi podatkov o ravneh zvočnih moči črpalk iz avstrijske baze podatkov je bilo ugotovljeno, da:
 - o obstaja velik raztros v ravneh zvočne moči za črpalke, ki imajo enako nazivno toplotno moč. Na primer razlika med najtišjo in najglasnejšo črpalko z nazivno toplotno močjo 8 kW je bila 29 dB(A);
 - o je na trgu precej črpalk katerih raven zvočne moči pri pogoju A7W35 je nižja od 50 – 55 dB(A), kar bi lahko okvirno predstavljalo stanje tehnike;
 - o se razlike med maksimalno in nazivno ravno zvočne moči toplotnih črpalk zrak-voda gibljejo med 0 in 20 dB(A). Pred uporabo podatkov o ravni zvočni moči, bi bilo njihovo točnost potrebno preveriti pri proizvajalcih naprav in uporabiti najbolj relevanten podatek za specifično aplikacijo. To še posebej velja za črpalke pri katerih je razlika med nazivno in maksimalno zvočno močjo majhna ali pa je celo enaka 0 dB(A).
- Primarna oziroma dominantna vira hrupa zunanje enote toplotne črpalke zrak-voda sta ventilator in kompresor. Obratovanje kompresorja in ventilatorja se ne more obravnavati ločeno ampak kot del sistema. Pri znižani hitrosti ventilatorja se morata povečati hitrost in hrup kompresorja, če se potreba po zagotavljanju toplote pri tem ne spremeni.
- Sekundarna vira hrupa sta uparjalnik in ekspanzijski ventil. Uparjalnik vpliva na obratovanje ventilatorja in kompresorja. Vpliv uparjalnika in ekspanzijskega ventila je pomemben tudi pri prehodnih pojavih kot sta sreženje in cikel odtaljevanja.
- V realnem okolju na emisije hrupa toplotne črpalke vplivajo obratovalni pogoji, ki so odvisni od razmer okolja vključno s temperaturo in relativno vlažnostjo ter potreb po toploti v stavbi. Največje emisije hrupa se pričakujejo pri nizkih temperaturah zunanjega zraka (pod 0 °C) in pri visoki relativni vlažnosti (nad 90 %) pri sistemih, ki morajo zagotavljati veliko razliko med zunanjo in notranjo temperaturo.

- Občutek glasnosti, kakovosti in vznemirjenosti zaradi zvoka je odvisna od njegove frekvenčne karakteristike, amplitude in dinamike zvoka. Pri ocenjevanju hrupa v okolju je poleg ravni zvočnega tlaka potrebno upoštevati popravke, ki jih v sklopu meritev ravni zvočne moči ne upoštevamo. Ti se nanašajo na prisotnost poudarjenih tonov, prisotnost izrazitih impulzov, intermitentnost zvoka, nizkofrekvenčno karakteristiko, čas trajanja, povečano občutljivost za hrup v različnih obdobjih dneva in druge karakteristike hrupa, ki povzročajo vznemirjenost zaradi hrupa.

Viri:

- [1] UREDBA KOMISIJE (EU) št. 813/2013 z dne 2. avgusta 2013 o izvajanju Direktive 2009/125/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede zahtev za okoljsko primerno zasnovo grelnikov prostorov in kombiniranih grelnikov
- [2] UREDBA KOMISIJE (EU) št. 814/2013 z dne 2. avgusta 2013 o izvajanju Direktive 2009/125/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede zahtev za okoljsko primerno zasnovo grelnikov vode in hranilnikov tople vode
- [3] Delegirana uredba komisije (EU) št. 811/2013 z dne 18. Februarja 2013 o dopolnitvi Direktive 2010/30/EU Evropskega parlamenta in Sveta glede energijskega označevanja grelnikov prostorov, kombiniranih grelnikov, kompletov grelnika prostorov, naprave za uravnavanje temperature in sončne naprave ter kompletov kombiniranega grelnika, naprave za uravnavanje temperature in sončne naprave
- [4] Commission Decision of 28 May 2014 establishing the criteria for the award of the EU Ecolabel for water-based heaters
- [5] https://energy-efficient-products.ec.europa.eu/product-list/space-heaters_en?prefLang=sl
- [6] www.produktdatenbank-get.at
- [7] [The best heat pumps on the European Market \(2023\) | topten.eu](https://www.topten.eu)
- [8] EN 12102-1:2022. Air conditioners, liquid chilling packages, heat pumps, process chillers and dehumidifiers with electrically driven compressors - Determination of the sound power level - Part 1: Air conditioners, liquid chilling packages, heat pumps for space heating and cooling, dehumidifiers and process chillers.
- [9] EN 14511-2:2022. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps for space heating and cooling and process chillers, with electrically driven compressors - Part 2: Test conditions
- [10] EN ISO 3471. Akustika Določanje ravni zvočnih moči in ravni zvočne energije virov hrupa z zvočnim tlakom – Precizijska metoda za odmevnice (ISO 3741:2010).

- [11] EN ISO 3743. Akustika Ugotavljanje ravni zvočnih moči in ravni zvočne energije virov hrupa z zvočnim tlakom – Inženirske metode za majhne premične vire v odmevnih poljih 1. del: Primerjalna metoda za preskušanje v prostoru z zvočno refleksijskimi (odbojnimi) stenami.
- [12] EN ISO 3747 Akustika Ugotavljanje ravni zvočnih moči in ravni zvočne energije virov hrupa z merjenjem zvočnega tlaka – Inženirska/informativna metoda za uporabo na kraju samem (in situ) v odmevnem okolju (ISO 3747:2010). EN ISO 3747 se uporabi lahko kadar so izpolnjeni pogoji za inženirsko natančnost.
- [13] EN ISO 3744. Akustika Ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem zvočnega tlaka – Inženirska metoda v pretežno prostem polju nad odbojno ravnino (ISO 3744:2010)
- [14] EN ISO 3745. Akustika Ugotavljanje ravni zvočnih moči in ravni zvočne energije virov hrupa z merjenjem zvočnega tlaka – Prezicijska metoda za gluhe in polgluhe prostore (ISO 3745:2012)
- [15] SIST EN ISO 9614-1:2009. Akustika – ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem jakosti zvoka – 1. del: Merjenje na diskretnih točkah (ISO 9614-1:1993)
- [16] SIST EN ISO 9614-2:1997. Akustika – ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem jakosti zvoka – 2. del: Zvezno merjenje po ploskvi.
- [17] SIST EN ISO 9614-3:2009. Akustika – ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem jakosti zvoka – 3. del: Precizijska metoda zveznega merjenja po ploskvi (ISO 9614-3:2002)
- [18] POREDOŠ, Alojz, KITANOVSKI, Andrej, VIDRIH, Boris, POREDOŠ, Primož, IONESCU, Ciprian, NECULA, H., VASILE, V. *Toplotne črpalke*. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za hlajenje in daljinsko energetiko, 2017.
- [19] ČUDINA, Mirko. *Tehnična akustika : merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij*. 2. dopolnjena izd. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 2014.
- [20] Brian CJ Moore and Brian R Glasberg. Suggested formulae for calculating auditory-filter bandwidths and excitation patterns. The journal of the acoustical society of America, 74(3):750{753, 1983.
- [21] Eberhard Zwicker. Subdivision of the audible frequency range into critical bands (frequenzgruppen). The Journal of the Acoustical Society of America, 33(2):248{248, 1961.
- [22] Harvey Fletcher and Wilden A Munson. Loudness, its definition, measurement and calculation. Bell System Technical Journal, 12(4):377-430, 1933.
- [23] ISO 226:2001. Acoustics - Normal equal-loudness contours. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH, 2001.
- [24] Hugo Fastl and Eberhard Zwicker. Psychoacoustics: facts and models, volume 22. Springer Science & Business Media, 2006.

- [25] ISO 532-1:2017. Acoustics - Methods for calculating loudness - Part 1: Zwicker method. Standard, ISO, Geneve, CH, 2017.
- [26] DIN 45631/A1:2010-03. Calculation of loudness level and loudness from the sound spectrum – Zwicker method. Standard, DIN, D, 2010.
- [27] DIN 45692:2009-08. Measurement technique for the simulation of the auditory sensation of sharpness. Standard, DIN, D, 2009.
- [28] Peter Daniel. Psychoacoustical roughness. In Handbook of signal processing in acoustics, pages 263-274. Springer, 2008.
- [29] W. von Aures. A procedure for calculating auditory roughness. *Acustica*, 58:268-281, 1985.
- [30] Ernst Terhardt, Gerhard Stoll, and Manfred Seewann. Algorithm for extraction of pitch and pitch salience from complex tonal signals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 71(3):679-688, 1982.
- [31] Torben Holm Pedersen, Morten Sondergaard, and Bent Andersen. Objective method for assessing the audibility of tones in noise joint nordic method-version 2. *DELTA*, 2000:04-14, 2000.
- [32] Projekt Annex 51. <https://heatpumpingtechnologies.org/annex51/>
- [33] SIST ISO 1996-2:2017 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise Part 2: Determination of sound pressure levels
- [34] ISO 1996-1:2016 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures
- [35] ISO/TS 20065:2022 Acoustics — Objective method for assessing the audibility of tones in noise — Engineering method
- [36] DIN 45681:2005-03 Acoustics - Determination of tonal components of noise and determination of a tone adjustment for the assessment of noise immissions
- [37] DIN 45681:1992-01 - Draft Detection of tonal components of noise and determination of a tone adjustment for the assessment of noise immissions
- [38] ISO 1996-2:2007. Acoustics - description, measurement and assessment of environmental noise - part 2: determination of environmental noise levels. Standard, ISO, Geneve, CH, 2007.
- [39] ISO/PAS 1996-3:2022 Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise Part 3: Objective method for the measurement of prominence of impulsive sounds and for adjustment of L_{Aeq}

3. Faza 3: pregled metod ocenjevanja hrupa toplotnih črpalk v okolju v postopku načrtovanja

V Avstriji, Švici, Nemčiji, Veliki Britaniji in na Nizozemskem poznajo poenostavljene računske postopke, ki se lahko uporabljajo pri načrtovanju in umeščanju toplotnih črpalk zrak-voda v lasti fizičnih oseb v prostor. Poenostavljeni računski postopki se uporabljajo za različne namene kot so za potrebe pridobivanja dovoljenj in subvencij ali za izpolnjevanje zahtev glede dovoljene gradnje. Izpolnjevanje zahtev glede hrupa v fazi načrtovanja je lahko eden izmed pomembnejših ukrepov varstva pred hrupom. Računski postopki sicer temeljijo na fizikalnih osnovah razširjanja hrupa v okolju, vendar pa je rezultat izračuna odvisen od vhodnih parametrov, ki niso splošni, njihova vrednost je odvisna od vsake posamezne situacije. Poenostavljeni izračuni so primerni za enostavne primere. V primeru kompleksnejše situacije, ki je odvisna od stanja na terenu, se priporoča, da izračun izvede strokovnjak s področja okoljske akustike. Ključni vhodni podatki, ki nastopajo v izračunih, so raven zvočne moči toplotne črpalke, prisotnost poudarjenih tonov ali kontinuiranega nizko-frekvenčnega hrupa in pa učinek protihrupnih ukrepov. O uporabi ustreznih vhodnih podatkov se je treba posvetovati s proizvajalcem.

Namen te faze je predstavitev računskih postopkov, ki jih poznajo v izbranih državah.

3.1. Avstrija

V Avstriji poznajo aplikacijo Avstrijskega združenja toplotnih črpalk (<https://www.waermepumpe-austria.at/schallrechner>), ki omogoča oceno imisij hrupa toplotne črpalke zrak-voda in se uporablja kot pomoč pri načrtovanju. Izračun upošteva priporočila obstoječih Avstrijskih smernic in standardov in omogoča določitev imisij hrupa pred prostori, ki zahtevajo zaščito pred hrupom, na sosednjih parcelah ali pred izpostavljenim objektom. Izračun omogoča tudi oceno potrebne razdalje med mestom ocenjevanja in toplotno črpalco, da se priporočene imisijske ravni hrupa ne bodo presegale.

Izračun se uporabi kot orodje pri načrtovanju inštalacije toplotnih črpalk zrak-voda, ne more pa nadomestiti ocene obremenjenosti s hrupom v primeru sosedskega spora. Vse podatke o napravi zagotavlja proizvajalec, za točnost podatkov je odgovoren proizvajalec ali podjetje za načrtovanje. Če se pri izračunu prevzame raven zvočne moči v tistem načinu (kar mora biti navedeno s številčno vrednostjo), se je potrebno zavedati, da to lahko povzroči zmanjšanje učinkovitosti toplotne črpalke.

Izračun imisijske ravni $L_{r,calc}$ temelji na enačbi:

$$L_{r,calc} = L_{w,A} + L_Z + K_0 - 20 \cdot \log_{10}(r) - 11 - A_{bariera} \leq L_{r,zul}$$

kjer je:

$L_{w,A}$	raven zvočne moči naprave v enotah dB(A).
L_Z	Popravek zaradi poudarjenih tonov ali kontinuiranega nizko-frekvenčnega hrupa.
K_0	Popravek zaradi prisotnosti odbojnih površin na mestu, kjer se nahaja črpalka oziroma indeks usmerjenosti.
r	Razdalja v metrih med črpalko in mestom ocenjevanja.
$A_{bariera}$	Člen s katerim se upošteva slabljenje zvoka zaradi prisotnosti ovir oziroma pregrad.
$L_{r,zul}$	imisijski prag oziroma mejna raven hrupa

Pri načrtovanju se upoštevajo naslednje okvirne vrednosti vhodnih parametrov:

$L_{w,A}$	Uporablja se maksimalna raven zvočne moči naprave za zunanost po specifikaciji proizvajalca . Podatki o zvočni moči se lahko povzamejo po bazi podatkov, ki je objavljena na www.produktdatenbank-get.at . Bazo vzdržuje dežela Salzburg in se redno posodablja.
L_Z	Popravek upošteva prisotnost poudarjenega tona. V popravku se upoštevajo tudi druge moteče akustične lastnosti zvoka kot so impulzi, cviljenje ali nizkofrekvenčne komponente hrupa. V splošnem se uporablja popravek $L_Z = +5$ dB(A), razen če proizvajalec lahko dokaže da popravek ni potreben.
K_0	Popravek zaradi prisotnosti odbojnih površin na mestu, kjer se nahaja črpalka se upošteva, če se odbojne površine razen tal nahajajo na razdalji 3 m od črpalke ali manj. V primeru nadstreška se popravek upošteva, če se nadstrešek nahaja na višini manjši od 5 m od tal in se nadstrešek nahaja nad toplotno črpalko. Popravek zanaša: - $K_0 = 3$ dB, če v okolici črpalke razne tal ni druge odbojne površine, - $K_0 = +6$ dB, če se črpalka nahaja pred eno odbojno površino , - $K_0 = +9$ dB, če se črpalka nahaja v kotu.
r	Razdalja je razdalja med središčem toplotne črpalke zrak-voda in sprejemnikom, ki se nahaja na parcelni meji ali na lokaciji okna varovanega prostora. Izrazi se v metrih (m). Če sosednja parcela ni pozidana, je odločilna najbližja stavbna linija.
$A_{bariera}$	Če se črpalka nahaja ob fasadi, ki ni vidna z mesta ocenjevanja je popravek $A_{bariera} = 5$ dB(A), Če je med črpalko in mestom ocenjevanja celoten objekt, potem je popravek $A_{bariera} = 15$ dB(A). Za ograje, in podobne konstrukcijske rešitve, ki niso nameščene skladno s specifikacijami proizvajalca in zelene zasaditve se popravek ne upošteva oziroma je njegova vrednost enaka nič.
$L_{r,zul}$	Prezeta mejna raven pred objektom je 30 dB(A). To je raven, ki so priporočajo tudi smernice in priporočila Svetovne zdravstvene organizacije (Night Noise Guidelines for Europe, WHO). Prezeta raven na parcelni meji je enaka 35 dB(A). Ta vrednost se uporablja kot omejitev v večini zveznih držav.

Če so v neposredni bližini toplotne črpalke (na razdalji 3 m od naprave) nameščeni ali načrtovani dodatni sistemi je te potrebno upoštevati pri izračunu. Popravek je odvisen od števila naprav.

Če je izračunana raven zvočnega tlaka $L_{r,calc}$ previsoka je potrebno povečati razdaljo do mesta ocenjevanja in ponovno izvesti izračun, spremeniti lokacijo, da se zmanjša indeks usmerjenosti, izvedite ukrepe za povečanje zvočne izolacije, preveriti, ali je na voljo bolj primeren model črpalke oziroma ali je možna drugačna različica namestitve.

3.2. Švica

Pri ocenjevanju hrupa toplotnih črpalk je merodajna ocenjena raven hrupa L_r , ki ne sme biti presežena na mestu ocenjevanja. L_r se določi skladno z zahtevami priloge 6 Uredbe o varstvu pred hrupom (Lärmschutz-Verordnung - LSV) kot:

$$L_r = L_{eq} + K_1 + K_2 + K_3 + 10 \log_{10}(t/t_0)$$

Kontinuirana ekvivalentno A-vrednoteno raven hrupa L_{eq} na imisijskem mestu se lahko določi na podlagi ravni zvočne moči L_{WA} toplotne črpalke (ali fasadne odprtine v primeru toplotne črpalke, ki je vgrajena v notranjosti) kot:

$$L_{eq} = L_{WA2^{\circ}C} - 11 \text{ dB} + DC - 20 \log_{10}(s/s_0) - A_{ukrep}$$

Z združitvijo enačb dobimo končno obliko, ki se uporablja pri načrtovanju:

$$L_r = L_{WA2^{\circ}C} - 11 \text{ dB} + DC - 20 \log_{10}(s/s_0) - A_{ukrep} + K_1 + K_2 + K_3 + 10 \log_{10}(t/t_0)$$

kjer je:

$L_{WA2^{\circ}C}$	A-vrednotena raven zvočne moči pri zunanji temperaturi 2°C.
DC	Indeks usmerjenosti.
K_0	Popravek zaradi prisotnosti odbojnih površine v bližini toplotne črpalke.
s	je razdalja med toplotno črpalko in mestom ocenjevanja v metrih.
s_0	je referenčna razdalja 1 m.
A_{ukrep}	je zmanjšanje hrupa zaradi protihrupnih ukrepov.
K_1	popravek zaradi dela dneva in vrste vira.
K_2	je popravek zaradi poudarjenih tonov.
K_3	je popravek zaradi poudarjenih impulzov.
t	čas obratovanja toplotne črpalke v minutah (ločeno za dnevno in nočno obdobje).
t_0	720 minut.

Pri načrtovanju toplotnih črpalk se uporabijo naslednje vrednosti:

L_{WA2^0C}	Skladno s Prilogo 6, odstavek 34 Uredbe o varstvu pred hrupom LSV (https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1987/338_338_338/de) se pri ocenjevanju hrupa toplotnih črpalk uporablja raven zvočne moči L_{WA2^0C}. Ta se lahko povzame iz kataloga podatkov o zvočnih močeh toplotnih črpalk, ki ga vzdržuje Združenje toplotnih črpalk Švice FWS. Če podatek o ravni zvočne moči L_{WA2^0C} ni na voljo se pri izračunu uporabi najvišja/maksimalna raven zvočne moči. Če obstajajo podrobnejši akustični podatki, kot so na primer usmerjenost izsevane zvočne moči v prostem polju jih je potrebno pri izračunu uporabiti.
DC	Je odvisen od lokacije toplotne črpalke in prisotnosti odbojnih površin ter lokacije mesta ocenjevanja. Če se mesto ocenjevanja nahaja na sosednji stavbi ali parceli, potem je DC enak: - +3 dB, če se črpalka nahaja na lokaciji, kjer na razdalji 3 m ali več od črpalke ni prisotnih odbojnih površin razen tal; - +6 dB, če se črpalka nahaja ob eni steni (na razdalji, ki je manjša od 3 m); - +9 dB, če se črpalka nahaja v kotu med dvema stenama. Če se mesto ocenjevanja nahaja na isti fasadi kjer je nameščena črpalka, potem je DC enak: - +3 dB, če se črpalka nahaja na lokaciji, kjer na razdalji 3 m ali več od črpalke ni prisotnih odbojnih površin (sten) razen tal; - +3 dB, če se črpalka nahaja ob eni steni (na razdalji, ki je manjša od 3 m); - +6 dB, če se črpalka nahaja v kotu med dvema stenama.
s	Razdalja med virom hrupa (zunanj otoplotne črpalke oziroma jaškom ali fasadno odprtino pri notranjih instalacijah) in središčem najbližjega okna za hrup občutljivih prostorov (dnevna soba, spalnica ipd.). Pri nepozidanih gradbenih parcelah se hrup oceni na mestu, ki je od meje parcele oddaljeno za razdaljo, ki je enaka zakonsko določeni dovoljeni oddaljenosti stavbe od parcelne meje. Izračun se trenutno lahko uporablja le za okvirno oceno hrupa na lastni fasadi, saj lastnosti sevanja v neposredni bližini toplotne črpalke niso natančno znane in lokalnih zaščitnih učinkov ni mogoče enostavno izračunati. Za večstanovanjske stavbe je potrebno vnesti razdaljo med virom hrupa in središčem najbližjega okna na hrup občutljivega prostora.
s_0	Referenčna razdalja 1 m.
A_{ukrep}	Učinek oziroma znižanje imisijske ravni je odvisno od vrste protihrupnega učinka. Med protihrupne ukrepe se šteje na primer: - Protihrupna ograja z zvočno izolacijo $R'w \geq 25$ dB in z absorpcijsko oblogo $DL\alpha \geq 8$ dB (na strani vira), ki zakriva pogled na črpalke z mesta ocenjevanja in obratno. Znižanje hrupa zaradi ograje lahko doseže $A_{ukrep} = -8$ dB(A); - Zvočno izoliran okrov toplotne črpalke nameščen po navodilih proizvajalca lahko doseže $A_{ukrep} = -2$ dB(A) do -6 dB(A).
K_1	Popravek zaradi dela dneva in vrste vira. $K_1 = +5$ dB v dnevnem času in $K_1 = +10$ dB v nočnem času.

K_2	Največkrat se uporablja vrednost +2 dB. Vrednost popravka je lahko tudi +4 dB ali +6 dB.
K_3	0 dB.
t	Pri načrtovanju se upošteva, da je $t = 720$ minut. Na ta način se predpostavi, da je delovanje vira neprekinjeno. Odstopanja od prevzete vrednosti t je možno le, če je obratovanje omejeno z uporabo npr. timer-ja. Glasne toplotne črpalke, ki bi sicer lahko dosegale zahteve glede mejnih ravni hrupa ob uporabi časovnega popravka niso ustrezne.
t_0	720 minut

3.3. Nemčija

TA Lärm je vodilo, ki se uporablja za nadzor emisij hrupa. TA Lärm dopušča poenostavljen računski postopek. Poenostavljeni računski postopek je opisan v prilogah A.1.4 in A.2.4.3 TA Lärm, avgust 1998 in se lahko uporablja za informativni izračun o vplivih toplotne črpalke na hrup v okolju. Na podlagi poenostavljenega računskega postopka je pripravljena aplikacija Zvočni kalkulator (<https://www.waermepumpe.de/werkzeuge/schallrechner/>), ki se nahaja na spletni strani Zveznega združenja toplotnih črpalk. Aplikacija vsebuje tudi podatke nekaterih proizvajalcev. Izračun ne more nadomestiti strokovne ocene hrupa v primeru sosedskega spora. Vse podatke o napravi zagotavlja proizvajalec, ki je tudi odgovoren za njihovo točnost.

Za izračun je potreben načrt namestitve, ki vključuje lokacijo toplotne črpalke in umestitev v prostor, odbojne stenske površine in položaj oken prostorov, ki zahtevajo zaščito. Če se prvotno izbrana lokacija namestitve spremeni, je izračun izvesti ponovno in znova preveriti obremenitev najbolj izpostavljenega objekta s hrupom. Izračun je potrebno opraviti za dnevni in nočni čas.

Izračun L_r se izvede po enačbi:

$$L_r = L_{WAeq} + K_T + K_0 - 20 \log_{10}(s_m) - 11 + K_R - D_I \text{ dB}$$

kjer je:

L_{WAeq}	Raven zvočne moči toplotne črpalke po specifikaciji proizvajalca (lahko je ločena za dnevni ali nočni čas).
K_T	Popravek zaradi poudarjenih tonov ali frekvenčne vsebine po specifikaciji proizvajalca (popravek ima lahko vrednost 0, 3 ali 6 dB(A)).
K_0	Popravek zaradi prisotnosti odbojnih površine v bližini toplotne črpalke (3 / 6 / 9 dB(A)).
s_m	Razdalja od toplotne črpalke do ustrezne imisijske lokacije (0,5 m pred središčem odprtega okna najbližjega prostora, ki zahteva zaščito).
K_R	popravek v vrednosti +6 dB(A) za obdobja povečane občutljivosti na hrup (upošteva se samo za delovanje v dnevnem času).
D_I	Popravek zaradi zaslonjenosti vira.

Glede na zahteve TA Larm se pri informativnem izračunu upoštevajo ne upoštevata meteorološki popravek (C_{MET}) in popravek K_I zaradi izrazitih impulzov. Popravek $K_R = +6$ dB(A) v času povečane občutljivosti se uporablja za celotno dnevno delovanje, časovno ponderiranje ni potrebno.

Izbira računskih parametrov

L_{WAeq}	Vse podatke o napravi zagotavlja proizvajalec, ki je tudi odgovoren za njihovo točnost. Pri načrtovanju se uporablja maksimalna raven zvočne moči toplotne črpalke. Raven zvočne moči pri standardnih nazivnih pogojih se ne upošteva. Pri uporabi tihega načina v nočnem času je potrebno upoštevati, da ta način lahko povezan z zmanjšanjem zmogljivosti toplotne črpalke. Pri načrtovanju in izbiri opreme je treba upoštevati tudi dejansko potrebo po toploti.
K_T	Se določi po specifikaciji proizvajalca. Vrednost popravka je 0, 3 ali 6 dB(A).
K_0	Popravek zaradi prisotnosti odbojnih površine v bližini toplotne črpalke. Vrednost popravka je 3, 6 ali 9 dB(A) v odvisnosti od števila odbojnih površin.
s_m	Razdalja od toplotne črpalke do ustrezne imisijske lokacije (0.5 m pred središčem odprtega okna najbližjega prostora, ki zahteva zaščito).
K_R	Popravek v vrednosti +6 dB(A) za obdobja povečane občutljivosti na hrup (upošteva se samo za delovanje v dnevnem času).
D_I	Če je toplotna črpalka nameščena tako, da stavba sama deluje kot zaščita pred hrupom za mesto ocenjevanja, se lahko upoštevajo naslednji popravki naslednje ravni: - če je črpalka vidna z mesta imisije potem je $D_I = 0$ dB(A); - pri vgradnji ob hiši: $D_I = 5$ dB(A), če toplotna črpalka ni vidna z relevantne emisijske lokacije; - pri vgradnji za hišo (gledano z ustrezne lokacije emisij): $D_I = 15$ dB(A). V obeh primerih je potrebno preveriti, ali je relevantna druga emisijska lokacija (sosednja stavba na drugi strani stavbe).

3.4. Velika Britanija

V Veliki Britaniji se izračun uporablja za potrebe dokazovanja skladnosti toplotne črpalke zrak-voda glede dopustne (dovoljene) gradnje. Raven hrupa L_p na mestu ocenjevanja se izračuna na podlagi enačbe:

$$L_p = L_W + 10 \log_{10} \left(\frac{Q}{4\pi r^2} \right) - A_B = L_W - 20 \log_{10}(r) - 11 + DC - A_B$$

kjer je:

L_p	Raven zvočnega tlaka v dB(A).
L_W	Raven zvočne moči v dB(A).
Q	Faktor usmerjenosti zaradi prisotnosti odbojnih površin. Odbojna površina je vsaka površina vključno s tlemi, ki se nahaja na oddaljenosti 1 m od črpalke. Površina se šteje kot odbojna, če se razteza preko roba črpalke za 1 m ali več (nizek zid v bližini črpalke se ne upošteva kot odbojna površina).
DC	Indeks usmerjenosti, ki je enak $10 \log_{10}(Q)$.
r	Razdalja od toplotne črpalke do mesta ocenjevanja v m.
A_B	Je slabljenje hrupa zaradi prisotnosti bariere v dB(A).

Pri izračunu je potrebno upoštevati naslednje vrednosti parametrov:

L_W	L_W je podatek, ki se pridobi od proizvajalca črpalke. L_W se lahko pridobi tudi na podlagi tehnične specifikacije, energetske nalepke ali iz baze MCS. Ravni zvočne moči za črpalko v tihem načinu se ne sme uporabiti.
Q	$Q = 2$ oziroma $DC = 3$ dB, se uporabi za črpalko z eno odbojno površino (npr. tla, ali stena, če je črpalka nameščena na zid nad tlemi). $Q = 4$ oziroma $DC = 6$ dB, če se v bližini črpalke nahajata dve odbojni površini (npr. črpalka, ki se nahaja ob fasadi nad odbojnimi tlemi). $Q = 8$ oziroma $DC = 9$ dB, če se v bližini črpalke nahajajo tri odbojne površini (npr. črpalka, ki se nahaja v kotu). Črpalka, ki se nahaja v bližini štirih odbojnih površin ne more izpolnjevati zahtev MCS 020 a).
r	Razdaljo med središčem črpalke in mestom ocenjevanja je potrebno določiti na 0.1 m natančno. Mesto ocenjevanja je 1 m pred delom fasadi, ki se lahko odpre.
A_B	Določene so tri vrste pregrade: - Tip 1: betonska ali opečnata ograja, ki je vsaj 18 mm debela. V ograji ne sme biti razpok ali lukenj. Ograja se mora raztezati preko roba črpalke za 1 m ali več. - Tip 2: trdna ograja, ki je debela manj kot 18 mm. V ograji ne sme biti razpok ali lukenj. Ograja se mora raztezati preko roba črpalke za 1 m ali več.

	- Ni bariera: ograje z odprtini, presledki ali razpokami. Vegetacija. Zidovi ali ograje, ki so slabo vzdrževane, imajo luknje ali pa manjka del ograje se ne štejejo kot bariere. Pogled na črpalko z mesta ocenjevanja: - Črpalka ni vidna z mesta ocenjevanja. Pregrada zakriva pogled na mesto ocenjevanja iz vrhnjega dela črpalke. - Delni pogled: v primeru, ko je mesto ocenjevanja vidno s položaja, ki se nahaja 0.25 m od roba črpalke - Vidna črpalka: če je črpalka vidna z mesta ocenjevanja. Pri upoštevanju popravka zaradi prisotnosti pregrade se uporablja matrika: - Tip 1: - o $A_B = -10 \text{ dB(A)}$, če črpalka ni vidna; - o $A_B = -5 \text{ dB(A)}$, če je črpalka delno vidna; - o $A_B = 0 \text{ dB(A)}$, če je črpalka vidna. - Tip 2: - o $A_B = -5 \text{ dB(A)}$, če črpalka ni vidna; - o $A_B = -2.5 \text{ dB(A)}$, če črpalka je delno vidna; - o $A_B = 0 \text{ dB(A)}$, če je črpalka vidna. - Ni bariera: - o $A_B = 0 \text{ dB(A)}$, če črpalka ni vidna; - o $A_B = 0 \text{ dB(A)}$, če črpalka je delno vidna; - o $A_B = 0 \text{ dB(A)}$, če je črpalka vidna.
--	--

Izračunana raven zvočnega tlaka L_p se zaokroži na 0.1 dB natančno. Če je izračunana raven zvočnega tlaka na vseh ocenjevalnih mestih enaka ali nižja od mejne vrednosti ravni hrupa, se lahko šteje za dovoljeno gradnjo (ob upoštevanju skladnosti z drugimi zahtevami).

3.5. Nizozemska

Mejna imisijska raven hrupa zaradi obratovanja toplotne črpalke L_b se v splošnem nanaša na mesto ocenjevanja na parcelni meji. Izračuna se po enačbi:

$$L_b = L_w + \Delta L - 20 \log_{10}(r) - 11 + DC + K_1 + K_{\text{dag}} + K_{\text{sch}} + C_g$$

kjer je:

L_w	Raven zvočne moči, ki jo poda proizvajalec.
ΔL	Varnostni faktor.
r	Razdalja v m.
DC	Indeks usmerjenosti.
K_1	Popravek zaradi poudarjenih tonov, ki se določi na podlagi metode ISO PAS 20065:2016.
K_{dag}	Popravek zaradi obdobja ocenjevanja.
K_{sch}	Popravek zaradi pregrade (bariere).
C_g	Korekcija zaradi odboja od fasade.

Pri izračunu se upoštevajo naslednje vrednosti parametrov:

L_w	Raven zvočne moči, ki jo poda proizvajalec. Ker se imisijska raven nanaša na 1-minutno povprečje in zajema tudi prehodne pojave je potrebno upoštevati maksimalno raven. Dodatno se priporoča upoštevanje varnostnega dodatka 3 dB(A) zaradi dovoljenih odstopanj od deklarirane ravni.
ΔL	V fazi projektiranja se priporoča uporaba varnostnega faktorja v višini vsaj $\Delta L = 3$ dB(A), ki se prišteje ravni zvočne moči.
r	Razdalja med črpalko in parcelno mejo.
DC	Indeks usmerjenosti upošteva prisotnost odbojnih površin.
K_1	Med 0 in 6 dB(A). Vrednost popravka poda proizvajalec.
K_{dag}	K_{dag} v obdobju dneva je $K_{\text{dag}} = -5$ dB, v nočnem obdobju je $K_{\text{dag}} = 0$ dB.
K_{sch}	Popravek zaradi bariere znaša -5 dB, če je pregrada takšna, da ravni hrupa niso presežene pred objektom.
C_g	Znaša 5 dB(A) in se uporablja v primeru, če se izvajajo meritve na fasadi v nočnem času. V dnevnem času se ne upošteva. Ne upošteva se pri projektiranju.

3.6. Slovenija

Hrup v okolju na mestu ocenjevanja zaradi toplotnih črpalk, ki so del naprav, katerih obratovanje zaradi izvajanja industrijske, obrtne, proizvodne ali storitvene dejavnosti povzročajo v okolju stalen ali občasen hrup se lahko ocenjujejo na podlagi računskih metod (uredba, 6. člen).

Računska metoda ocenjevanja je določena v Uredbi o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 121/04, 59/19, 44/22 – ZVO-2 in 53/22). Pri nas so tako v veljavi metode za ocenjevanje, ki so določene v Prilogi II Direktive 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. junija 2002 o ocenjevanju in upravljanju okoljskega hrupa (UL L št. 189 z dne 18. 7. 2002, str. 12), nazadnje spremenjene z Delegirano direktivo Komisije (EU) 2021/1226 z dne 21. decembra 2020 o spremembi Priloge II k Direktivi 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede skupnih metod ocenjevanja hrupa zaradi prilagoditve znanstvenemu in tehničnemu napredku (UL L št. 269 z dne 28. 7. 2021 str. 65).«.

Računska metoda omogoča oceno ekvivalentnih ravni hrupa na mestu ocenjevanja zaradi vira hrupa na podlagi podatkov o:

- emisijskih lastnosti naprave,
- akustičnih lastnosti okolja, ki vplivajo na razširjanje zvoka od naprave proti mestu ocenjevanja in
- akustičnih lastnosti mesta ocenjevanja.

Emisijske lastnosti naprave so njena zvočna moč, usmerjenost in čas obratovanja.

Pri prenosu zvoka od naprave do mesta ocenjevanja prihaja do slabljenja oziroma atenuacije zvoka, ki je odvisna od številnih dejavnikov. Pri izračunu slabljenja se upoštevajo atmosferski pogoji, ki so lahko ugodni ali homogeni, slabljenje zaradi geometrijske divergence, atmosferske absorpcije in absorpcije zvoka v tleh, upošteva pa se tudi odboj, absorpcija in uklon zvočnih žarkov zaradi prisotnosti ovir in stavb.

Na mestu ocenjevanja oziroma imisijskem mestu se upošteva prisotnost odbojnih površin.

Računski model temelji na tridimenzionalnem geometrijskem modelu zato je potrebno upoštevati značilnosti reliefa in pozidave.

Izračun se opravi v oktavnih pasovih od 63 Hz do 8 kHz. Rezultat izračuna je A-vrednotena povprečna raven zvočnega tlaka za dnevni, večerni in nočni čas.

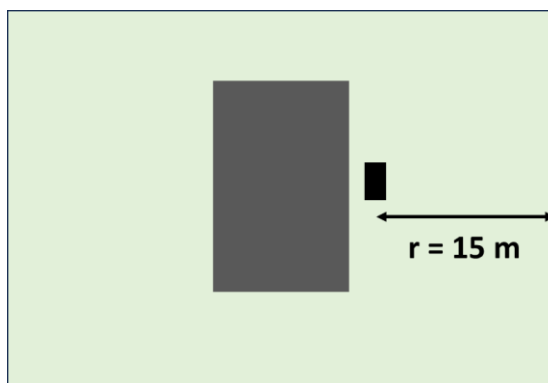
Izračun je kompleksen in se lahko izdelava le z uporabo verificirane in preverjene programske opreme. Vse vrste ocenjevanja hrupa z meritvami ali modelnim izračunom na podlagi računskih metod zato lahko izvaja oseba, ki ima pooblastilo za izvajanje obratovalnega monitoringa za emisije hrupa v skladu z zakonom, ki ureja varstvo okolja.

Zaradi številnih parametrov izračuna katerih vrednosti je potrebno dovolj točno in natančno oceniti, se modelni izračun v večini primerov preveri na podlagi primerjave z merilnimi metodami kot je na primer SIST ISO 1996-2:2017.

3.7. Študija primera

Uporabo različnih metod lahko predstavimo na primeru toplotne črpalke zrak-voda. Zunanja enota toplotne črpalke se bo predvidoma nahajala na tleh ob vzhodni fasadi hiše na razdalji 1 m od fasade. Zunanja enota se od mesta ocenjevanja (in najbližjih sosednjih objektov) oddaljena 15 m.

Situacija je shematsko prikazana na sliki 3.6.1.



Slika 3.6.1.: toplotna črpalka (črn kvadrat), ki je postavljena ob fasadi objekta (siv kvadrat) in se nahaja na oddaljenosti 15 m od mesta ocenjevanja.

Emisijski podatki, ki jih lahko najdemo v tehnični specifikaciji naprave ali jih poda proizvajalec so podani v tabeli 3.6.1.

Tabela 3.6.1: emisijske lastnosti zunanje enote toplotne črpalke zrak-voda.

Obratovalni pogoj	Raven zvočne moči L_{WA} v dB(A)
A7W35 po EN 12102	53
A2W35	58
Maksimalna obremenitev	62

Z vidika obremenjenosti s hrupom je najbolj relevantno nočno obdobje. Imisijske ocenjene ravni hrupa v nočnem času lahko ocenimo z uporabo nacionalnih poenostavljenih metod. Izračune izvedemo na podlagi enačb iz poglavij 3.1 do 3.5. in prikažemo v tabeli 3.6.2.

Tabela 3.6.2: Izračun in vrednosti posameznih členov za nočni čas v različnih državah (A=Avstrija, CH = Švica, DE = Nemčija, GB = Velika Britanija, NL = Nizozemska).

Parameter	A	CH	DE	GB	NL	Opomba
L_w / L_{wA}	62	58	62	62	62	Švica ima nižjo vrednost saj kot vhodni podatek uporablja raven zvočne moči pri pogoju W2A35. Avstrija in Nemčija uporabljata maksimalno raven zvočne moči.
K_0/DC	6	6	6	6	6	Vse države uporabljajo enak indeks usmerjenosti za črpalko, ki je nameščena ob fasadi objekta.
r	15	15	15	15	15	Oddaljenost od mesta imisije.
$K_{sch}, A_{bariera}$ A_{ukrep}, D_I	0	0	0	0	0	Ni ovir. Različne države uporabljajo različne oznake.
K_1/L_z	5	10	-	-	-	Specifična korekcija glede na vrsto vira in obdobje dneva, ki se uporabljata v Švici in Avstriji.
K_2/K_t	-	2	0	-	-	Popravek zaradi poudarjenih tonov se uporablja v vseh državah. V Švici se uporablja popravek 2 dB(A), lahko je tudi 4 dB(A) ali 6 dB(A).
ΔL varnostni faktor	-	-	-	-	3	Nizozemska upošteva varnostni faktor zaradi razlik v izdelavi in zaradi odstopanj od deklarirane ravni, ki jih dovolijo uredbe EU.
K_{dag}/K_R	-	-	0	-	0	Specifična korekcija, ki se uporablja v Nemčiji in na Nizozemskem v dnevnem času. V Nemčiji so nižje ravni dovoljene v dnevnem času kot v nočnem času, na Nizozemskem je obratno. V nočnem času je popravek enak 0.
L_r	38,5	41,5	33,5	33,5	36,5	Rezultati izračunov imisijske ocenjene ravni hrupa po različnih metodah. Izračun za Švico je najvišji, kljub uporabljeni najnižji ravni zvočne moči in majhnega popravka zaradi poudarjenega tona. Popravek, bi bil lahko višji, kar lahko določi proizvajalec/načrtovalec. Izračunana ocenjena imisijska raven hrupa za Nemčijo in Veliko Britanijo v nočnem času je najnižja. V Nemčiji je večji poudarek na zaščiti okolja pred hrupom v dnevnem času, v Veliki Britaniji se ne upošteva popravkov zaradi tonov ali nizkofrekvenčnih lastnosti zvoka.

3.8. Zaključek in ugotovitve

Aplikacije za izračun imisijskih ravni hrupa L_r v Avstriji, Švici, Nemčiji, Veliki Britaniji in na Nizozemskem temeljijo poenostavljenem računskem postopku, ki upošteva del parametrov, ki vplivajo na slabljenje pri razširjanju zvoka od naprave proti mestu ocenjevanja na podlagi naprednejših računskih metod, ki se sicer uporabljajo v Sloveniji.

Eden pomembnejših vhodnih podatkov je raven zvočne moči toplotne črpalke. Pri tem velja naslednje:

- pri uporabi podatka o ravni zvočne moči je potrebno razmisliti o obratovalnem pogoju pri katerem je bil podatek pridobljen in upoštevati v kakšnih pogojih bo črpalka obratovala. Smiselno je uporabiti dodaten varnostni faktor, ki je povezan z natančnostjo podatka (ΔL);
- nobena država pri načrtovanju ne uporablja deklarirane ravni zvočne moči, ki jo lahko najdemo na energijski nalepki in jo tipično najdemo v tehničnih specifikacijah. Večinoma se uporabljajo maksimalne ravni zvočne moči;
- švicarska aplikacija uporablja nižjo raven zvočne moči pri pogoju A2W35, vendar je to uvedla z 1. 11. 2024. Pred tem so uporabljali maksimalno raven zvočne moči, kar bi lahko kazalo na izboljšanje stanja glede na prejšnja leta in trud proizvajalcev;
- aplikacije za izračun imisijskih ravni hrupa na osnovi ravni zvočne moči urejajo in vzdržujejo nacionalna združenja toplotnih črpalk. Proizvajalci, inštalaterji so pri tem odgovorni za pravilnost in točnost podatkov o ravneh zvočne moči.

Imisijska raven L_r se določi na podlagi A-vrednotene ravni zvočne moči L_{WA} naprave z upoštevanjem:

- razdalje med toplotno črpalko in mestom ocenjevanja r ;
- prisotnosti odbojnih površin oziroma indeksa usmerjenosti v okolici naprave D_Q ;
- popravkov K zaradi prisotnosti poudarjenih tonov in vrste vira hrupa kamor sodi tudi nizko-frekvenčne stalni hrup ter popravkov zaradi obdobja dneva (dan, noč);
- vpliva ovir oziroma pregrad ali protihrupnih ukrepov med toplotno črpalko in mestom ocenjevanja A_{ovira} .

Splošen poenostavljen računski model za izračun imisijske ravni L_r je tako enak:

$$L_r = L_{WA} + \Delta L - 11 - 20 \times \log_{10}(r) + D_Q - A_{ovira} + \sum K$$

kjer je $\sum K$ vsota popravkov, ki ločeno obravnavajo prisotnosti poudarjenih tonov in vrste vira hrupa kamor sodi tudi nizko-frekvenčne stalni hrup ter popravkov zaradi obdobja dneva (dan, noč).

Študija primera je pokazala, da se rezultati izračuna na podlagi različnih nacionalnih postopkov razlikujejo, kar kaže na različne pristope k ocenjevanju hrupa toplotnih črpalk v fazi načrtovanja. Izračun je odvisen od vrednosti vhodnih parametrov in upoštevanja popravkov.

Obratovanje toplotnih črpalk zrak-voda je povezano z meteorološkimi razmerami (temperatura, relativna vlažnost, hitrost vetra). V tem smislu so za Slovenijo bolj relevantne metode, ki se uporabljajo v primerljivih okoljih.

Viri:

- [1] www.produktdatenbank-get.at
- [2] <https://www.waermepumpe-austria.at/schallrechner>
- [3] <https://www.fws.ch/laermschutznachweis/>
- [4] <https://www.waermepumpe.de/werkzeuge/schallrechner/>
- [5] Meetmethode geluid van buiten opgestelde installaties voor warmte- of koudeopwekking
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/09/23/meetmethode-geluid-van-buiten-opgestelde-installaties-voor-warmte--of-koudeopwekking>
- [6] <https://mcscertified.com/wp-content/uploads/2025/03/MCS-020-a-Issue-1.0-Final.pdf>

4. Faza 4: metoda za ocenjevanje hrupa toplotnih črpalk na podlagi meritev

V primeru suma, da so mejne vrednosti ravni hrupa zaradi obratovanja toplotne črpalke zrak-voda presežene se dejansko stanje lahko do neke mere ugotovi na podlagi določanja ocenjenih imisijskih ravni hrupa v okolju na podlagi meritev.

Ocenjevanje hrupa toplotnih črpalk na podlagi meritev večinoma temelji na uporabi metod, ki so sledijo zahtevam mednarodnih (ISO) ali nacionalnih standardov (ONORM, DIN) in nacionalnih predpisov. Pri ocenjevanju hrupa je potrebno izbrati ustrezno metodologijo. Izbira metodologije mora biti primerna in upravičena, ocenjevanje pa lahko izvaja le usposobljena in izkušena oseba.

Namen tega poglavja je predstavitev metode, ki bi jo bilo priporočljivo upoštevati v primeru, da se izkaže potreba po ocenjevanju hrupa v okolju zaradi toplotnih črpalk zrak-voda. Metoda vključuje izbiro mesta ocenjevanja, lokacijo merilnega mesta, zahteve glede obratovalnih pogojev in pogojev okolja, čas trajanje meritve. Metoda predlaga nabor merjenih količin in način določanja popravkov, s katerimi se lahko upoštevajo lastnosti hrupa toplotnih črpalk, ki so povezane z vznemirjenostjo zaradi hrupa. Predstavljene so tudi zahteve za merilno in programsko opremo.

4.1. Izbira mesta ocenjevanja

Mesto ocenjevanja je lokacija kjer je potrebno oceniti imisijsko raven hrupa toplotnih črpalk in je mesto, na katero se nanašajo mejne vrednosti.

V splošnem se mesto ocenjevanja nanaša na najbolj izpostavljeno mesto na parceli, kjer se nahajajo objekti z varovanimi prostori ali pa na mesto, ki se nahaja neposredno pred oknom, vrati ali fasado objekta z varovanimi prostori. Mesto ocenjevanja je pogosto določeno na več kot enem mestu. Mesto ocenjevanja se lahko razlikuje glede na obdobje dneva, kar pomeni, da je različno v dnevnem ali večernem času. Mesta ocenjevanja v različnih državah so predstavljena v tabeli 4.1.1.

Tabela 4.1.1.: mesta ocenjevanja zaradi hrupa toplotnih črpalk.

	Avstrija	Švica	Nemčija	Danska	Velika Britanija	Francija	Nizozemska
Parcelna meja	X			X		X	X
Na sosednji parceli, na mestu, kjer je obremenitev s hrupom največja				X			
Na mestu, ki je od meje parcele oddaljeno za razdaljo, ki je enaka zakonsko določeni		X	X				

	Avstrija	Švica	Nemčija	Danska	Velika Britanija	Francija	Nizozemska
dovoljeni oddaljenosti stavbe od parcelne meje							
Na terasi ali delu parcele sosednjega objekta, kjer se ljudje zadržujejo.							X
Neposredno pred varovanim prostorom najbolj izpostavljenega sosednjega objekta	X						
Na sredini odprtega okna prostora občutljivega za hrup		X					
1 m od centra oken ali vrat bivalnih prostorov sosednje nepremičnine					X		
0.5 m pred odprtim oknom varovanega prostora najbolj izpostavljenega objekta			X				
Pred okni ali vrati sosednjega balkona							X
Pred okni in vrati varovanih prostorov večstanovanjskega objekta.							X

Višina mesta ocenjevanja je največkrat 1.2 do 1.5 m nad tlemi, lahko se lahko določi tudi na drugih višinah, če je med virom in najbolj izpostavljenim objektom ovira, ali pa če se najbolj izpostavljeni varovani prostori nahajajo na višini prvega nadstropja ali višje.

V Sloveniji je mesto ocenjevanja določeno le za toplotne črpalke, ki so del naprav, katerih obratovanje zaradi izvajanja industrijske, obrtne, proizvodne ali storitvene dejavnosti povzročajo v okolju stalen ali občasen hrup in jih obravnavamo kot vir hrupa v skladu z Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 43/18, 59/19 in 44/22 – ZVO-2). Mesto ocenjevanja je:

- mesto zaradi emisije hrupa vira, kjer se lahko ustvari domneva, da bi lahko hrup povzročal motnjo ali
- pred fasado najbolj izpostavljene stavbe z varovanimi prostori v skladu s standardom SIST ISO 1996-2. Varovani prostor je prostor v stavbi, v katerem se opravlja vzgojno-varstvena ali izobraževalna dejavnost ali dejavnost zdravstvenih domov, zdravstvenih postaj, bolnišnic ali klinik v skladu z zakonom, ki ureja zdravstveno dejavnost, in prostori v stanovanjih, v katerih se ljudje zadržujejo dlje časa (npr. spalnice, dnevne sobe, otroške sobe, bivalne kuhinje ipd.). Za potrebe načrtovanja ukrepov varstva pred hrupom se ocenjevanje izvede tudi na drugih mestih.

V Sloveniji se v primeru motečega hrupa toplotnih črpalk fizičnih oseb lahko uporablja sosedsko pravo. Temeljno načelo sosedskega prava je prepovedana imisija zaradi katere je motena uporaba drugih nepremičnin čez mero, ki je glede na naravo in namen nepremičnine ter glede na krajevne razmere običajna.

Z upoštevanjem sosedskega prava Skladno s tem je potrebno pri mestu ocenjevanja upoštevati naslednje:

Če gre za enostanovanjske stavbe (hiše):

- Na najbolj obremenjenem delu parcele sosednjega objekta (večinoma je to parcelna meja ni pa nujno). Ne upošteva del parcele pred delom objekta, kjer se nahaja del fasade brez oken, vrat in brez varovanih prostorov.
- Neposredno na delu fasade, kjer se nahajajo varovani prostori z okni in/ali vrati.

Če gre za večstanovanjske stavbe:

- Na terasi, atriju, balkonu, zunanjem vrtu.
- Okno ali vrata najbolj izpostavljenega varovanega prostora.

Če se toplotna črpalka in varovan prostor nahajata v istem objektu, potem gre tu za hrup obratovalne opreme, ki se obravnava v sklopu gradbene zakonodaje kot je Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah (Uradni list RS, št. 10/12, 61/17 – GZ in 199/21 – GZ-1) ali na primer v sklopu občinskega odloka. Kljub temu bi se lahko mesto ocenjevanja nanašalo na :

- okno ali vrata najbolj izpostavljenega prostora;
- teraso, atrij, balkon, zunanji vrt stanovanja;
- prostore v notranjosti, kjer je hrup najbolj zaznaven.

4.2. Lokacija merilnega mesta

Merilno mesto mora po eni strani biti izbrano tako, da akustični signal na merilnem mestu odraža značilnosti vira, po drugi strani pa mora zajeti vse značilnosti hrupa na imisijskem mestu, ki so povezane s hrupom naprave. Včasih to ni možno z uporabo enega mikrofona. Pri izbiri merilnega mesta je potrebno upoštevati naslednje situacije:

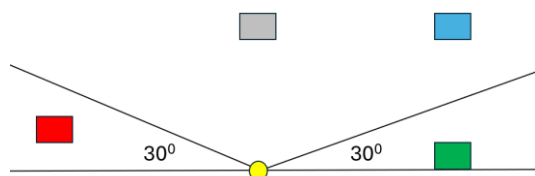
- a) Meritve se izvedejo na mestu ocenjevanja, ki se v večini primerov nahaja na parcelni meji ali pred oknih (vratih) objekta z varovanimi prostori.
- b) Kadar hrup na mestu ocenjevanja ni le posledica hrupa naprave oziroma toplotne črpalke je smiselno meritve izvesti na dveh merilnih mestih. Z meritvami na dveh mestih se lahko prikaže povezava med hrupom zaradi obratovanja toplotne črpalke in hrupom na mestu ocenjevanja ter se določijo ustrezne atenuacijske funkcije. Eno merilno mesto naj se nahaja v bližini naprave in drugo na mestu ocenjevanja. Pri izbiri merilnega mesta v bližini naprave je potrebno paziti, da mikrofoni ni preblizu ali predaleč. Mikrofoni naj se ne nahajajo v toku zraka in, da mora biti dovolj daleč, da lahko vir obravnavamo kot točkast vir (na primer na razdalji 2 – 3 m od

naprave pod kotom 45° in v smeri mesta ocenjevanja). Namesto mikrofona se za meritve v bližini naprave lahko uporabi merilnik vibracij nameščen na napravo.

- c) Kadar mesto ocenjevanja ni dostopno se meritve izvedejo v bližini vira, ravni hrupa na mestu ocenjevanja pa se izračunajo z uporabo modelnega izračuna pri čemer je na mestu ocenjevanja potrebno upoštevati popravke, ki so bili določeni na merilnem mestu.

Mejne ocenjene imisijske ravni hrupa se večinoma določijo z upoštevanjem izmerjenih ravni hrupa, ki naj bi bile določene v prostem polju, kjer je učinek odbojnih površin razen tal minimiziran. Zato je pri analizi meritev potrebno upoštevati korekcijo zaradi odboja zvoka:

- Korekcija zaradi odboja od fasade se ne uporablja, za meritve, ki se izvajajo v dnevnem ali večernem času. Korekcija zaradi odboja od fasade se upošteva le za meritve, ki se izvajajo v nočnem času.
- Če se mesto ocenjevanja nahaja neposredno na oknu, fasadi ali vratih izpostavljenega objekta z varovanimi prostori je v nočnem času smiselno upoštevati korekcijo zaradi odboja od fasade:
 - o V primeru, če je vpadni kot zvočnega valovanja enak $0^\circ - 60^\circ$ se upošteva korekcija -5 dB(A) . Če je toplotna črpalka nameščena vzporedno s fasado, kjer se nahaja tudi okno ali fasada ali vrata izpostavljenega objekta ali pa, če je vpadni kot zvočnega valovanja med $61^\circ - 90^\circ$ potem se korekcija ne upošteva. Na sliki 4.2.1. so prikazana območje kjer se upoštevajo različni popravki.
 - o Meritvam na razdalji $0,5 \text{ m}$ do 2 m od odbojne površine (razen tal) se je potrebno izogibati. Če to ni mogoče, se uporabi popravek -3 dB .



Slika 4.2.1.: Upoštevanje korekcija zaradi odboja od fasade v nočnem času v primeru, če se meritve izvajajo na fasadi. Merilno mesto je prikazano z rumenim krogcem. Različni položaji toplotne črpalke so prikazani s kvadrati. V primeru sive in modre črpalke se upošteva popravek -5 dB , v primeru rdeče in zelene črpalke se popravek ne upošteva.

4.3. Pogoji okolja v času meritev

Hrup toplotnih črpalk na podlagi meritev je potrebno oceniti pri maksimalni ravni zvočne moči naprave za zunanost po specifikaciji proizvajalca, ali če to ni mogoče zagotoviti, pri obratovanju vira hrupa, ki povzroča največje obremenjevanje okolja zaradi hrupa.

V primeru toplotnih črpalk je potrebno upoštevati ustrezne meteorološke in klimatske pogoje ter obratovalne pogoje.

Pogoji okolja se spreminjajo glede na lokacijo. Na Primorskem na delovanje črpalke lahko vpliva burja, vendar meritev v času, ko piha veter z veliko hitrostjo ni reprezentativna. V severnem delu Slovenije v krajih z višjo nadmorsko višino je potrebno upoštevati vpliv nizkih temperatur, ki pa so po drugi strani povezane z manjšo vlažnostjo zraka. Pozoren je potrebno biti na gosto poseljene lokacije v kotlinah in dolinah, kjer se v ogrevalni sezoni temperature zraka spustijo pod 0 °C, relativna vlažnost zraka v nočnem času pa je visoka (nad 90 %). Pogoje okolja je vedno potrebno upoštevati v fazi planiranja meritev.

Osnovno priporočilo je, da se meritve izvedejo pri nizki temperaturi zunanjega zraka (pri temperaturah pod 0 °C) in visoki relativni vlažnosti zraka (nad 85 %) oziroma v območju sreženja, kot je to prikazano na sliki 2.4.3.4.1. Pri tem je potrebno tudi zagotoviti običajen odjem toplote za to obdobje.

Takšnih pogojev verjetno ni mogoče zagotoviti s simulacijo (npr. odpiranjem vroče vode in nastavljanja notranje temperature).

Hitrost vetra naj bo nizka (nižja od 5 m/s), meritve naj se ne izvajajo v času padavin ali, ko zemljo prekriva sveža snežna odeja.

4.4. Čas trajanja meritve

Časovni interval merjenja je treba izbrati tako, da so pri merjenju upoštevane vse značilnosti vira hrupa. Meteorološki pogoji v času izvajanja meritev hrupa (temperatura, vlaga, zračni tlak, hitrost in smer vetra) morajo za mesto ocenjevanja hrupa pomeniti načeloma ugodne pogoje za širjenje hrupa v okolje v skladu z merili iz standarda SIST ISO 1992-1, 2. Obratovalno stanje toplotne črpalke zraka-voda se tekom dneva spreminja.

Meritve je treba izvesti v celotnem obdobju dneva, ko črpalka povzroča največjo obremenitev. Z vidika obremenjevanja okolja s hrupom je najbolj relevanten nočni čas. V nočnem času je potrebno zajeti najglasnejšo uro, kar pomeni, da je meritve potrebno izvajati kontinuirano.

Meritve naj se izvajajo vsaj 24 ur. Priporoča se uporaba merilnikov, ki omogočajo beleženje akustičnih parametrov ('logiranje') okoljskega hrupa (L_{eq} , L_N , L_E , L_{Fmax} , terčni spekter) s časovno resolucijo, ki omogoča identifikacijo posameznih zvočnih dogodkov povezanih z obratovanjem črpalke kot so na primer vklop, izklop, vklop ventila, sreženje, odtaljevanje kakor tudi identifikacijo neželenih in naključnih dogodkov. Dodatno se priporoča tudi snemanje in shranjevanje signala za potrebe naknadne analize. Dolgotrajne meritve z beleženjem in snemanjem je pomembno, ko se pritožbe nanašajo na nizkofrekvenčni in intermitenten hrup s prehodnimi pojavi.

4.5. Parametri hrupa

Namen meritve hrupa toplotnih črpalk je v večini primerov določanje ravni hrupa v okolju ter njihove dinamike in ugotavljanje prisotnosti poudarjenih tonov, izrazitih impulzov, nizkofrekvenčnega hrupa in drugih lastnosti hrupa, ki so povezani z vznemirjenostjo. Še posebej je to pomembno za nočno obdobje.

Najpomembnejši parameter s katerim opisujemo hrup je A-vrednotena raven zvočnega tlaka. Moderna oprema za izvajanje meritev hrupa na terenu pa omogoča tudi beleženje številnih drugih parametrov. V primeru hrupa toplotnih črpalk se priporoča beleženje vsaj naslednjih parametrov:

L_{Aeq}	A-vrednotena ekvivalentna raven hrupa.
L_{Ceq}	C-vrednotena ekvivalentna raven hrupa.
$L_{AF,i}$	i – percentilna raven A-ovrednotena raven hrupa, to je frekvenčno in časovno vrednotena raven zvočnega tlaka, ki je presežena i % obravnavanega časovnega intervala. i naj zavzema vsaj vrednosti 1 %, 5 %, 10 %, 90 %, 95 %, 99 %.
$L_{AF,max}$	Maksimalna A-vrednotena raven hrupa s časovno uteženo karakteristiko tipa F (Fast).
$L_{AF,min}$	Minimalna A-vrednotena raven hrupa s časovno uteženo karakteristiko tipa F (Fast).
$L_{eq,1/3 Oct}$	Ekvivalentna raven hrupa znotraj terčnega frekvenčnega pasu s centralno frekvenco f_c v območju med 25 Hz do 10000 Hz.

Beleženje naj se izvaja s časovno resolucijo (npr. 1 sekunda), ki omogoča identifikacijo posameznih zvočnih dogodkov povezanih z obratovanjem črpalke kot so na primer vklop, izklop, vklop ventila, sreženje, oddaljevanje kakor tudi identifikacijo neželenih in naključnih dogodkov.

Za potrebe določanja popravkov zaradi poudarjenih tonov in izrazitih impulzov je smiselno tudi shranjevati in beležiti tudi signal, kar omogoča nadaljnjo akustično analizo.

4.6. Popravek zaradi poudarjenih tonov

Hrup, ki vsebuje poudarjene tone povzroča večjo vznemirjenost kot hrup brez tonov z enako jakostjo. Pri ocenjevanju okoljskega hrupa ima identifikacija tonov na podlagi frekvenčne analize pomembno vlogo. V sklopu sistema s toplotno črpalko obratujejo viri, katerih frekvenčna karakteristika vsebuje diskretne tone. Med te vire spadata kompresor in ventilator, pojav tonov pa je lahko povezan tudi s strukturno dinamiko komponent in ohišja črpalke ali pa z akustičnimi resonancami. Pomen tonov postane pomemben, če so toni poudarjeni. Hrup, ki vsebuje poudarjene tone povzroča vznemirjenost zaradi česar se uporablja popravek zaradi poudarjenih tonov. Popravek zaradi poudarjenih tonov lahko določimo s subjektivno, objektivno ali referenčno metodo. V primeru toplotnih črpalk lahko pričakujemo pojav nizkofrekvenčnih poudarjenih tonov zato:

- se popravek zaradi poudarjenih tonov določi z tako z uporabo objektivne metode na podlagi terčne frekvenčne analize in z uporabo referenčne metode na podlagi ozkopasovne frekvenčne analize. Pri tem se priporoča uporaba referenčne metode opisane v standardu SIST ISO 1996-2:2007, priloga C. Alternativno se lahko uporabi metoda opisana v SIST ISO 1996-2:2017, priloga J. Upošteva pa se popravek z višjo vrednostjo. Vrednost popravka je lahko med 0 in 6 dB(A);
- pojav poudarjenih tonov mora biti povezan (koreliran) z delovanjem toplotne črpalke in ne sme biti povezan z drugimi viri.

Če se referenčna metoda ne uporabi se lahko upošteva subjektivna metoda in splošen popravek zaradi poudarjenih tonov, ki znaša 10 dB(A) v nočnem času in 5 dB(A) v ostalih obdobjih dneva.

Uporaba metod zahteva izkušenega strokovnjaka s področja ocenjevanja hrupa v okolju, ki obvlada teoretično ozadje frekvenčne analize in njeno praktično uporabo. Poznati pa mora tudi specializirano programsko opremo, ki je sicer komercialno dostopna.

4.7. Popravek zaradi prisotnosti izrazitih impulzov

Hrup, ki vsebuje impulze povzroča vznemirjenost. V primeru suma na prisotnost zvočnih dogodkov za katere je značilen hiter porast zvočnega tlaka se lahko uporablja subjektivna metoda ali pa se popravek zaradi impulzov se izvede po ISO PAS 1996-3: 2022. V večini primerov se pojav izrazitih impulzov v hrupu toplotnih črpalk, kot jih poznamo iz npr. SIST ISO 1996-1:2016 ne pričakuje. Do nenadnega porasta hrupa pride v začetnem delu cikla odtaljevanja, vendar je frekvenca ponavljanja teh dogodkov zaradi načina obratovanja toplotne črpalke ni tako visoka. Pojav izrazitih impulzov je vseeno potrebno preveriti za vsak primer posebej.

Vrednost popravka se določi skladno z zahtevami Pravilnika o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu ali na podlagi ISO PAS 1996-3: 2022. Popravek lahko znaša med 0 in 12 dB(A).

Lahko pa pričakujemo intermitentnost ali pa pojav nekaterih drugih prehodnih dogodkov, ki lahko pomenijo dodatno vznemirjenost in jih je potrebno tudi upoštevati.

4.8. Popravki zaradi drugih akustičnih lastnosti toplotnih črpalk

V primeru toplotnih črpalk lahko pričakujemo intermitentnost ali pa pojav nekaterih drugih prehodnih dogodkov, ki lahko pomenijo dodatno vznemirjenost in bi jih bilo potrebno tudi upoštevati.

Intermitenten hrup se lahko oceni na podlagi subjektivne ocene, če je jasno slišen in se ponavlja periodično, ciklično, lahko tudi naključno.

Intermitentnost se lahko upošteva na primer, če se raven hrupa ob vklopu toplotne črpalke in izklopu črpalke bistveno spremeni glede na hrup pred vklopom in po izklopu (na primer za 10 dB(A) v dnevnem in 5 dB(A) v nočnem času) in če se to dogaja ciklično, periodično, lahko tudi naključno.

Intermitentnost se nanaša tudi na primere, ko se periodično pojavlja tonalen ali nizkofrekvenčen zvok, ki ga ni možno zaznati na podlagi ekvivalentne ravni in je povezan z obratovanjem črpalke.

Pri ugotavljanju in dokazovanju intermitentnosti se priporočajo dolgotrajne meritve, beleženje in snemanje signala.

Drug primer so jasno zaznavni dogodki povezani s sreženjem, z začetkom cikla odtaljevanja, odtokom vode ob koncu cikla odtaljevanja ali pa pojavi, ki so posledica strukturne dinamike (resonanc).

V primeru pojave teh dogodkov bi bilo smiselno upoštevati ustrezne popravke, ki bi se prišteli izmerjeni ravni. Vrednost popravka bi bila lahko na primer 3 dB(A) za posamezno karakteristiko, ki bi lahko povzročala vznemirjenost in je jasno zaznavna v primerjavi z ozadjem. Upoštevanje tovrstnih popravkov je pomembno predvsem v nočnem času.

4.9. Upoštevanje časa obratovanja v ocenjevalnem obdobju

Pri ocenjevanju se priporoča, da se prevzame, da toplotna črpalka deluje kontinuirano. Delovanje je odvisno od zunanjih pogojev in porabe toplote, kar pa ni v celoti pod nadzorom lastnika toplotne črpalke. Toplotne črpalke, ki bi sicer lahko dosegale zahteve glede mejnih ravni hrupa ob uporabi časovnega popravka se ne morejo jemati kot ustrezne.

Upoštevanje časovnega popravka bi bilo smiselno v primeru, če proizvajalec lahko nedvoumno dokaže omejitev glede časa obratovanja.

4.10. Ugotavljanje prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa in ocenjevanje nizkofrekvenčnega hrupa

Obravnava nizkofrekvenčnega hrupa v primeru ocenjevanja hrupa toplotnih črpalk zrak-voda zahteva posebno pozornost. Toplotne črpalke zrak-voda so lahko vir nizkofrekvenčnega tonalnega hrupa.

Priporoča se hkratno beleženje A- in C-vrednotenih ravni hrupa ter snemanje signala. Spremljanje C- vrednotenih ravni hrupa je pomembno pri ugotavljanju prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa, saj večja razlika med C- in A-vrednotenimi ravnmi hrupa lahko nakazuje na prisotnost nizkofrekvenčnega hrupa. V tem primeru je potrebno izvesti frekvenčno analizo in uporabiti poleg objektivne metode tudi referenčno metodo za določanje popravka zaradi poudarjenih tonov. Slednja

je ključnega pomena z vidika obravnave nizkofrekvenčnega hrupa. Če se referenčna metoda ne uporabi, se upošteva dodaten popravek zaradi prisotnosti poudarjenih tonov, ki znaša 10 dB(A) v nočnem času in 5 dB(A) v ostalih obdobjih.

Obravnava nizkofrekvenčnega hrupa je še posebej pomembna v primeru, če se sistem s toplotno črpalko nahaja v isti stavbi kot je izpostavljen prostor, saj lahko pride do nizkofrekvenčnega hrupa, ki se prenaša preko konstrukcije in je pogosto izrazit. To problematiko bi bilo smiselno obravnavati v sklopu gradbene zakonodaje in občinskih odlokov s področja vzdrževanja.

V primeru pritožb zaradi nizkofrekvenčnega hrupa v notranjosti prostorov so na voljo različne nacionalne metode, ki se uporabljajo za ugotavljanje prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa na podlagi meritev hrupa v zaprtih prostorih. Metode temeljijo na terčni frekvenčni analizi (v frekvenčnem območju med 10 Hz in 250 Hz) in upoštevajo občutljivost povprečnega človeškega slušnega sistema za zaznavanje nizkofrekvenčnih komponent hrupa. Metode se razlikujejo glede na merilni postopek in glede na ravni nizkofrekvenčnega hrupa pri katerih bi bile lahko motnje zaradi nizkofrekvenčnega hrupa bolj izrazite. Poznamo Dansko, Nemško (DIN 45680, 1997), Švedsko, Poljsko, Angleško in Nizozemsko metodo.

V primeru hrupa toplotnih črpalk, ki se ne nahajajo v isti stavbi kot varovan prostor je doseganje mejnih ravni nizkofrekvenčnega hrupa kot jih predvidevajo različne nacionalne metode manj verjetno. Pri odločitvah, ki bi bile sprejeti na podlagi rezultatov, ki so bili pridobljeni z uporabo teh metod je potrebno biti pazljiv, saj se v praksi pogosto zgodi, da mejne ravni, ki so podane v metodah za ocenjevanje nizkofrekvenčnega hrupa niso presežene.

V primeru izvajanja meritev v notranjosti, bi se vedno morala izvajati še terčna in ozkopasovna frekvenčna analiza. Tudi v notranjosti bi se lahko uporabljale metode za ugotavljanje popravkov, ki se upoštevajo v primeru meritev hrupa v okolju. Vrednost popravkov bi se lahko upoštevala za meritve v dnevnem času, v nočnem času pa se poudarjeni toni (nizko in visokofrekvenčni), izraziti impulzi, intermitentni hrup in toni ali drugi prehodni zvočni dogodki, ki so povezani z obratovanjem toplotne črpalke zrak-voda ne bi smeli pojavljati.

4.11. Upoštevanje hrupa ozadja oziroma obremenitev okolja s hrupom s preostalimi viri hrupa glede na lokacijo mesta ocenjevanja

Določanje ravni hrupa ozadja ima pomembno vlogo pri ocenjevanju hrupa v okolju. V primeru, da je specifični hrup zaradi obratovanja toplotne črpalke bistveno višji od hrupa ozadja (na primer za okoli 10 dB(A)), potem hrup ozadja ne igra pomembne vloge. V ostalih primerih je izločanje hrupa ozadja in ugotavljanje obremenitve okolja s hrupom le zaradi obratovanja toplotne črpalke (specifičnega vira) ena izmed ključnih nalog, ki pa zahteva visoko stopnjo izkušenosti s področja meritev hrupa v okolju. Pri tem se lahko uporabi več metod, ki zahtevajo dodatne, pogosto dolgotrajne analize. Pri izločanju hrupa ozadja in ugotavljanju ravni hrupa ozadja ter določanju specifičnega hrupa v primeru toplotnih črpalk so na voljo naslednje metode:

- Raven hrupa ozadja se lahko določi kot rezidualna raven zvočnega tlaka $L_{Aeq,res}$ na podlagi dolgotrajnih meritev pri čemer se uporabi le dele meritev, ko preiskovani vir hrupa ne obratuje oziroma obratuje pod obratovalnimi pogoji, kjer je hrup zaradi toplotne črpalke bistveno nižji od ravni hrupa ozadja (na primer v času cikla odtaljevanja). Iz meritev je pri tem potrebno izločiti tudi vse naključne, kratkotrajne in neželene hrupne dogodke oziroma vse dogodke, ki se lahko v sklopu meritev ali naknadne analize lahko odstranijo. Raven hrupa ozadja je okvirna raven, na katero se prikaz ravni LAF na merilniku ravni zvočnega tlaka vedno znova vrača v času, ko je okolica tiha. Obenem to pomeni, da raven hrupa le redko pade pod to ravno.
- Pri praktični izvedbi meritev hrupa toplotnih črpalk, ki pogosto obratujejo ciklično, se kot merilo za raven hrupa ozadja uporablja lahko na primer raven LAF₉₅, ki je 95 – percentilna A-vrednotena raven hrupa in označuje raven hrupa v dB(A), ki je presežena 95 % časa. Določena je na podlagi statistične analize ravni hrupa LAF, ki je izmerjena z merili, ki imajo frekvenčno ovrednoteno karakteristiko tipa A in časovno uteženo karakteristiko tipa F (Fast). Možna je tudi uporaba drugih percentilnih ravni, npr. LAF₉₀ ali LAF₉₉, kar je odvisno od načina obratovanja toplotne črpalke. Če se uporabljajo percentilne ravni hrupa, je meritve potrebno izvesti kot dolgotrajne meritve.
- V primeru, da toplotna črpalka obratuje brez prekinitve, ali pa je merilno mesto obremenjeno tudi s hrupom drugih virov je potrebno meritve hrupa ozadja izvesti:
 - o v drugem obdobju, ko toplotna črpalka ne obratuje ali pa,
 - o hrup ozadja določiti na drugem merilnem mestu, ki se nahaja v bližini mesta ocenjevanja, kjer prevladujejo podobne razmere glede hrupa ozadja vendar ni obremenjeno s hrupom toplotne črpalke. Na ta način se lahko preverijo tudi običajne lokalne razmere glede hrupa.
 - o Možni so tudi izračuni, če za to obstajajo ustrezne metode.

Popravek zaradi hrupa ozadja se določa po enačbi iz Priloge 2 Pravilnika o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 105/08 in 44/22 – ZVO-2).

Raven hrupa ozadja ima pomembno vlogo tudi pri določanju popravkov zaradi drugih akustičnih lastnosti toplotnih črpalk vključno pri določanju popravkov zaradi poudarjenih tonov, izrazitih impulzov, intermitentnosti in drugih akustičnih lastnosti toplotnih črpalk. Zato je popravke vedno potrebno določiti le na vzorcih, kjer razmerje signal šum dovolj veliko.

4.12. Ocenjena imisijska raven hrupa

Rezultat ocenjevanja je ocenjena imisijska raven hrupa v dnevnem, večernem in nočnem času $L_{r,T_{dan}}$, $L_{r,T_{večer}}$, $L_{r,T_{noč}}$, ki je določena kot vsota izmerjene ravni hrupa z upoštevanjem popravka zaradi hrupa ozadja in korekcije zaradi prisotnosti odbojnih površin ter nato popravljena zaradi

poudarjenih tonov, izrazitih impulzov in drugih akustičnih lastnosti toplotnih črpalk. Ocenjena imisijska raven hrupa je boljši kazalnik potencialnega odziva prebivalcev na izmerjen hrup in tudi normirane (mejne) ravni se navadno nanašajo na ravni $L_{r,T_{dan}}, L_{r,T_{večer}}, L_{r,T_{noč}}$.

Oznake $T_{dan}, T_{večer}, T_{noč}$, se nanašajo na referenčni čas v katerem se določijo ekvivalentne ravni hrupa. V splošnem se nanašajo na obdobje dneva, večera in noči. Še posebej v nočnem času, ko varstvo pred hrupom bolj pomembno je smiselno uporabiti krajši referenčni čas (npr. najglasnejšo uro). Z upoštevanjem referenčnega časa dobimo kazalce $L_{dan}, L_{večer}, L_{noč}$.

4.13. Zahteve glede merilne negotovosti in določanje merilne negotovosti

Pri poročanju rezultatov je priporočljivo upoštevati negotovost izmerjenih ravni hrupa in izvedene analize ter izračunov. Če lahko stopnja merilne negotovosti rezultata vpliva na ugotovitve in zaključke, je potrebno izvesti primerne, izvedljive in smiselne ukrepe za zmanjšanje negotovosti. O stopnji negotovosti, o izvedenih ukrepih za njeno zmanjšanje in njeno številčno oceno je potrebno poročati.

Poročati je potrebno o stopnji negotovosti, o uporabljenih metodah in o ukrepih, ki so bili izvedeni za zmanjšanje negotovosti rezultata in končne ocene. Na negotovost vplivajo številni vplivni parametri kot so:

- Kompleksnost vira in variabilnost emisij hrupa oziroma obratovalnih pogojev;
- Kompleksnost in variabilnost ter raven hrupa ozadja in rezidualnega hrupa;
- Raven hrupa ozadja v primerjavi s specifičnim hrupom;
- Izbira merilnih mest;
- Razdalja med virom hrupa in merilnim mestom;
- Stanje tal in vpliv meteoroloških pogojev;
- Število ponovitev meritev;
- Število neodvisnih meritev;
- Čas trajanja meritev;
- Variabilnost med različnimi izvajalci v načinu izvedbe meritev;
- Vpliv zaokroževanja;
- Natančnost uporabljenih inštrumentov;

V primerih, ko je negotovost rezultata prevelika, je smiselno meritve ponoviti ali izvesti dodatne ukrepe za zmanjšanje negotovosti kot so:

- Izvedba dodatnih meritev;
- Podaljšati čas trajanja meritev;
- Izvedba meritev v različnih obdobjih in pod različnimi vremenskimi pogoji.

Pri poročanju je smiselno predstaviti tudi druge relevantne informacije, ki bi lahko vplivale na končno oceno.

Pri uporabi modelnega izračuna je potrebno upoštevati predvsem:

- Negotovost izmerjenih ravni hrupa, ki se uporabljajo v izračunih;
- Negotovost v obratovalnih značilnostih vira in njen vpliv na uporabljeno raven zvočne moči;
- Negotovost uporabljene računske metode;
- Negotovost, ki izvira iz prilagajanja računskih parametrov zaradi nepoznavanja njihove prave vrednosti, z namenom, da se doseže čim boljša primerjava z dejanskim stanjem;
- Napake pri računanju.

Pri poročanju je potrebno opisati metodo s katero so bili pridobljeni podatki o ravni zvočne moči in poročati o njeni negotovosti.

4.14. Zahtevana merilna oprema in programska oprema

Če se izvaja ocenjevanje hrupa na podlagi meritev hrupa, se mora za meritve uporabljati merilna oprema, ki ustreza tehnični specifikaciji za merilno opremo razreda 1 v skladu s standardom SIST EN 61672-1. Za meritve najmanj v terčnem spektru se mora uporabljati merilna oprema v skladu z razredom 1 po standardu SIST EN 61260.

Merilnik ravni zvočnega tlaka mora biti pred izvedbo meritev kalibriran in po meritvah preverjen s kalibratorjem, ki izpolnjuje zahteve ISO 1996-2 (razred 1 po IEC 60942). Kalibracijo je potrebno izvesti pri tonu s frekvenco 1 kHz in amplitudi 94 dB. Rezultati kalibracije morajo izpolnjevati zahteve ISO 1996-2. Merilna oprema (kalibrator in analizator hrupa) mora biti periodično preverjena v kalibracijskem laboratoriju, ki izpolnjuje zahteve ISO 17025. Periodika mora izpolnjevati zahteve ISO 1996-2.

Programska oprema, ki se uporablja za analizo (na primer za določanje popravka zaradi poudarjenih tonov) mora biti verificirana in preverjena pred uporabo. Izpolnjevati mora specifikacije, ki jih zahtevajo predmetni standardi.

Programska oprema, ki se uporablja za modelne izračune mora izpolnjevati zahteve metode iz Priloge II Direktive 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. junija 2002 o ocenjevanju in upravljanju okoljskega hrupa (UL L št. 189 z dne 18. 7. 2002, str. 12), nazadnje spremenjene z Delegirano direktivo Komisije (EU) 2021/1226 z dne 21. decembra 2020 o spremembi Priloge II k Direktivi 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede skupnih metod ocenjevanja hrupa zaradi prilagoditve znanstvenemu in tehničnemu napredku (UL L št. 269 z dne 28. 7. 2021 str. 65). V preprostih primerih se lahko uporablja tudi enostavna ekstrapolacija izmerjenih ravni na podlagi geometrijske divergence.

4.15. Kompetence in izkušnje izvajalca

Meritve lahko izvede kompetentna oseba, ki lahko dokaže zadostno tehnično znanje, izkušnje in spretnosti, ki so potrebne za izvedbo meritev hrupa v okolju na terenu. Priporočljivo je, da ima izkušnje tudi z izvedbo modelnih izračunov hrupa v okolju. Poleg tehničnega znanja potrebuje izvajalec izkušnje, pridobljene na podobnih projektih ter usposobljenost za analizo in interpretacijo podatkov o hrupu. Te izkušnje so pomembne predvsem kadar gre za obravnavo nizkofrekvenčnega tonalnega hrupa in hrupa v katerem so prisotni impulzni in intermitentni dogodki. Izvajalec mora dobro poznati relevantne strokovne standarde in metode ter zakonodajo s področja hrupa. V primeru, če se uporabijo metode ali postopki, ki se razlikujejo od zahtev predpisane metode, mora razloge za izbiro drugačnih postopkov ustrezno strokovno argumentirati. Od izvajalca se pričakuje, da svojo usposobljenost stalno vzdržuje, se izobražuje in svoje znanje predaja na strokovnih srečanjih in posvetih ali forumih ter nudi strokovno pomoč pri pripravi predpisov.

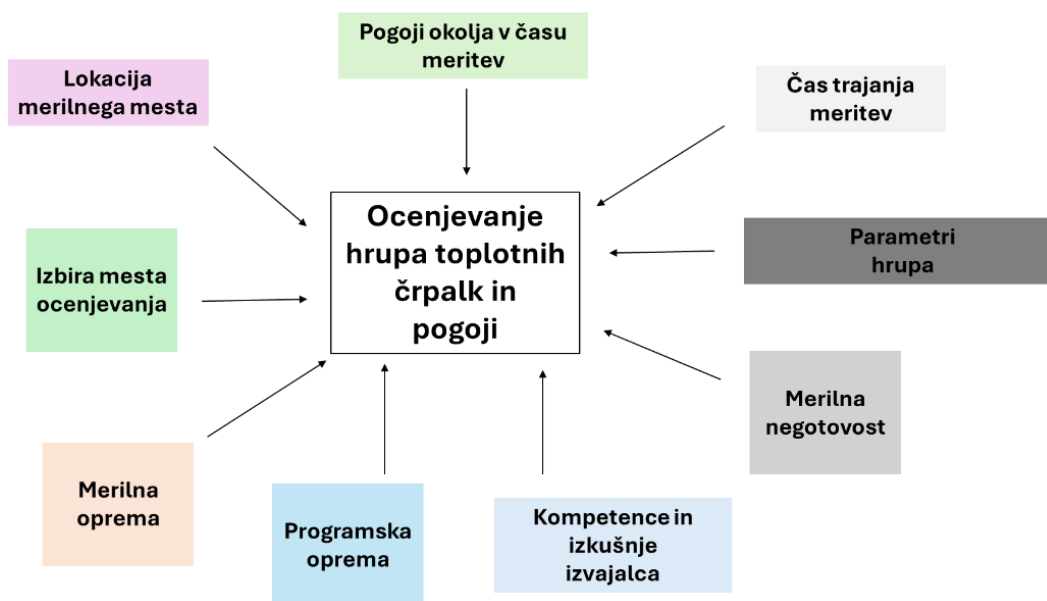
4.16. Povzetek

Glavni namen določanja ravni hrupa v okolju zaradi obratovanja vira hrupa na podlagi meritev je pogosto primerjava rezultata meritev z okoljskim normativom oziroma mejnimi ravni hrupa v okolju. Mejne ravni hrupa se največkrat nanašajo na ocenjene imisijske ravni hrupa na mestu ocenjevanja v obdobju dneva, večera in noči. Mejne ravni hrupa se dodatno nanašajo na specifične obratovalne in meteorološke pogoje in predvidevajo, da na mestu ocenjevanja ni drugih odbojnih površin razen tal. Če se skladnost z okoljskimi normativi ugotavlja na podlagi meritev, potem je potrebno pri izvajanju meritev upoštevati strokovne metode, ki so opisane v standardih s področja akustike ali pa se upoštevajo nacionalne metode.

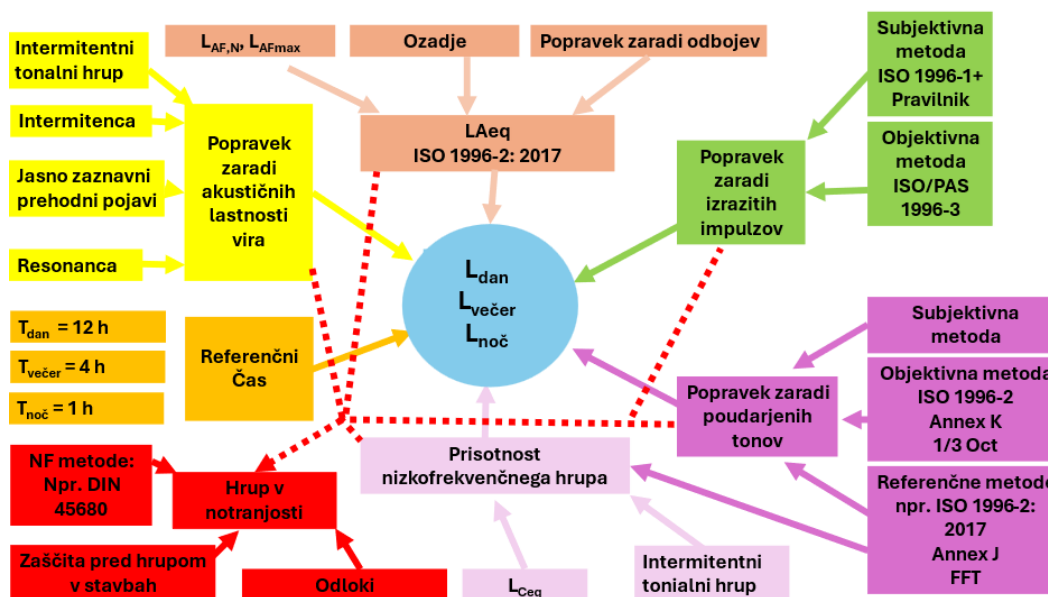
Izvedba meritev hrupa v okolju je proces, ki mora biti skrbno načrtovan in premišljen. Vedno pa so pri dejanski izvedbi na terenu prisotne dodatne okoliščine na katere se je potrebno prilagoditi. Pri tem so ključne strokovna usposobljenost, tehnično znanje in izkušnje izvajalca meritev.

V tem poglavju so podane smernice, ki bi jo bilo priporočljivo upoštevati v primeru, da se izkaže potreba po ocenjevanju hrupa v okolju zaradi toplotnih črpalk zrak-voda.

Pri ocenjevanju hrupa v okolju zaradi toplotne črpalke zrak-voda na podlagi meritev je smiselno upoštevati priporočila, ki so opisani v tem dokumentu. Na sliki 4.16.1. so shematsko prikazane zahteve, ki jih je potrebno upoštevati pred samo izvedbo meritev, katerih namen je določanje ocenjene imisijske ravni hrupa. Povzetek določanja ocenjene imisijske ravni hrupa v dnevnem, večernem in nočnem času je prikazan na sliki 4.16.2



Slika 4.16.2. Zahteve, ki jih je potrebno upoštevati pred samo izvedbo meritev, katerih namen je določanje ocenjene imisijske ravni hrupa.



Slika 4.16.2.: Povzetek metode za določanje ocenjene imisijske ravni hrupa v dnevnem, večernem in nočnem času na podlagi izmerjenih ravni hrupa v okolju in popravkov.

Viri:

- [1] SIST ISO 1996-2:2007. Akustika - Opis, merjenje in ocena hrupa v okolju - 2. del: Določanje ravni hrupa v okolju
- [2] SIST ISO 1996-2:2017. Akustika - Opis, merjenje in ocena hrupa v okolju - 2. del: Določanje ravni zvočnega tlaka
- [3] SIST ISO 1996-1:2016. Akustika - Opis, merjenje in ocena hrupa v okolju - 1. del: Osnovne veličine in ocenjevalni postopki
- [4] ISO 9613-2:2024 - Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: Engineering method for the prediction of sound pressure levels outdoors
- [5] SIST ISO 9613-1:1998. Akustika - Slabljenje zvoka pri širjenju na prostem - 1. del - Metoda za računanje slabljenja zvoka zaradi atmosferske absorpcije
- [6] SIST ISO 9613-2:1997. Akustika - Slabljenje zvoka pri širjenju na prostem - 2. del: Splošna računska metoda
- [7] ISO/PAS 1996-3:2022. Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 3: Objective method for the measurement of prominence of impulsive sounds and for adjustment of L_{Aeq}
- [8] Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 105/08 in 44/22 – ZVO-2)
- [9] Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 43/18, 59/19 in 44/22 – ZVO-2)
- [10] Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 121/04, 59/19, 44/22 – ZVO-2 in 53/22)
- [11] Priloga II Direktive 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. junija 2002 o ocenjevanju in upravljanju okoljskega hrupa (UL L št. 189 z dne 18. 7. 2002, str. 12), nazadnje spremenjene z Delegirano direktivo Komisije (EU) 2021/1226 z dne 21. decembra 2020 o spremembi Priloge II k Direktivi 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede skupnih metod ocenjevanja hrupa zaradi prilagoditve znanstvenemu in tehničnemu napredku (UL L št. 269 z dne 28. 7. 2021 str. 65)
- [12] ISO/TS 20065:2022. Acoustics — Objective method for assessing the audibility of tones in noise — Engineering method.
- [13] ISO/PAS 20065:2016. Acoustics — Objective method for assessing the audibility of tones in noise — Engineering method
- [14] BS 4142:2014+A1:2019. Methods for rating and assessing industrial and commercial sound.

- [15] ÖNORM S 5021
- [16] DIN 45680, March 1997, Measurement and evaluation of low-frequency environmental noise.
- [17] Mirowska, M., 2001. Evaluation of low-frequency noise in dwellings. New Polish recommendations. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 20(2), pp.67-74.
- [18] Moorhouse, A.T., Waddington, D.C. and Adams, M.D., 2005. Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance.
- [19] Van den Berg G P and Passchier-Vermeer W, Assessment of low frequency noise complaints, Proc. Internoise99, 1999.
- [20] Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps.
- [21] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm). https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26081998_IG19980826.htm
- [22] Ermittlung der Geräuschimmissionen. <https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/BMU-IG-19980826-KF01-A001.htm>

5. Faza 5: razvoj poenostavljene metodologije za ocenjevanja hrupa toplotne črpalke na podlagi izračuna

Toplotne črpalke zrak-voda so poznane kot visoko učinkovit ogrevalni sistem. Njihova prednost so relativno nizki investicijski stroški, enostavna namestitvev in vgradnja, majhna zahteva po prostoru in izkoriščanje okoliškega zraka kot vira toplote, ki je v splošnem povsod dostopen.

Izkoriščanje zunanjega zraka pa obenem pomeni, da je njihovo obratovanje odvisno tudi od pogojev okolja in, da je za njihovo delovanje potrebna zunanja enota, ki je naprava z ventilatorjem in kompresorjem katere električna moč lahko presega moč običajnih naprav, ki jih uporabljamo v gospodinjstvih. Obratovanje toplotne črpalke se na primer razlikuje od obratovanja klimatskih naprav. Slednje se večinoma uporabljajo v dnevnem času, ko so temperature višje, v nočnem času pa se lahko zaradi nižjih zunanjih temperatur lahko ugasnejo ali uporabljajo v tihem načinu delovanja. Za toplotne črpalke je predvideno, da obratujejo stalno, pri čemer pa se potreba po toploti po navadi poveča predvsem v nočnem času ali pa v obdobjih z nizko temperaturo in visoko relativno vlažnostjo. Ker gre za relativno nove vire hrupa, je tudi njihov akustični odtis slabše raziskan. Z njihovim pojavom v stanovanjskih območjih, kjer so razdalje med sosednjimi objekti kratke, ali pa v tihih območjih, kjer so ravni hrupa ozadja nizke, se je pokazala dodatna potreba po obravnavi obremenjenosti okolja s hrupom zaradi toplotnih črpalk zrak-voda. Ocena obremenjenosti s hrupom je povezana z ocenjenimi imisijskimi ravnmi hrupa. Poleg investicijskih stroškov, učinkovitosti, potreb po toploti, podnebnih značilnostih okolja, možnosti popravila, dostopnosti rezervnih delov in ostalih parametrov, ki vplivajo na izbiro toplotne črpalke bi bilo potrebno razmišljati tudi o imisijskih ravneh hrupa v okolju, in sicer že v fazi načrtovanja.

Namen tega poglavja je predstavitev poenostavljene metode za izračun ocenjenih imisijskih ravni hrupa toplotne črpalke zrak-voda na podlagi akustičnih lastnosti črpalke in okolja v katerega bo črpalka nameščena. Ključen podatek o akustiki toplotne črpalke je raven zvočne moči, ki se lahko pridobi na podlagi akustičnih meritev ali na podlagi podatkov proizvajalca naprave, ki je tudi odgovoren za njihovo pravilnost.

V tej fazi so predstavljene aplikacije za izračun ocenjene imisijske ravni hrupa v Avstriji, Nemčiji in v Švici. Predlagan je enostaven računski model, ki bi se lahko uporabljal v Sloveniji. Obravnavan je pomen hrupa ozadja. Predstavljene so omejitve metode in definirane so metode, ki bi se lahko uporabljale v fazi projektiranja in ocenjevanja hrupa v primeru situacij, ki zahtevajo dodatno obravnavo.

5.1. Razvoj poenostavljene metode za določanje zvočne moči toplotne črpalke na terenu

Trenutno ne poznamo enostavne metode za določanje ravni zvočne moči na terenu. Raven zvočne moči na terenu je mogoče določiti z uporabo akustičnih metod, ki so na primer opisane v standardih SIST EN ISO 3744 ali SIST EN ISO 3746. Podatke o emisijskih lastnosti vira vključno z ravno zvočno moči je možno pridobiti tudi na podlagi računskih metod v povezavi s SIST ISO 1996-2:2017. Uporaba teh metod zahteva izkušeno in usposobljeno osebje, primerno opremo, metoda pa mora biti akreditirana po standardu SIST EN ISO/IEC 17025. Če se metode uporabljajo za namene primerjave z deklarirano ravno zvočno močjo je pri tem potrebno upoštevati tudi zahteve laboratorijskih standardov (npr. EN 12102). Tovrstna primerjava v večini primerov ni mogoča, saj je težko zagotoviti zahteve za izvedbo laboratorijskih meritev v realnih pogojih na terenu.

5.2. Upoštevanje ravni zvočne moči v odvisnosti od klimatskih pogojev

Deklarirana raven zvočne moči kot je podana na primer pri energijski nalepki Ecolabel se skladno s standardom EN 12102 nanaša na pogoj A7W35 (ali A7W45) pri čemer so dovoljena odstopanja do +2 dB(A). Raven zvočne moči toplotne črpalke po namestitvi na terenu je odvisna od številnih dejavnikov vključno od tipa črpalke zrak-voda (nizko-, srednje- ali visoko- temperaturna), od zunanje temperature in relativne vlažnosti, od načina namestitve in potrebe po toploti kar pa je odvisno tudi od porabnika, energetskih, toplotnih in drugih lastnosti stavbe ter notranjega ogrevalnega sistema (radiatorska ali talna ogrevala, ogrevanje s konvektorji). Vsak izmed teh dejavnikov vpliva na obratovanje in raven zvočne moči naprave. V večini primerov raven zvočne moči pri pogoju A7W35 ne more biti reprezentativna za večino krajev v Sloveniji.

Reprezentativno raven zvočne moči je smiselno določiti na podlagi podatkov proizvajalca ali inštalaterja in njegovih izkušenj pri namestitvi toplotnih črpalk v podobnih okoljih in stavbah oziroma na podlagi referenc.

V nasprotnem primeru se priporoča uporaba maksimalne ravni zvočne moči. Če tega podatka od proizvajalca ni mogoče pridobiti, je priporočljivo upoštevati nazivno raven zvočne moči (npr. pri pogoju A7W35) in ji prišteti popravek (recimo v velikosti 15 dB(A)).

5.3. Obseg veljavnosti metodologije z navedbo primerov, kjer se metodologija lahko uporablja

Obseg uporabe metod SIST EN ISO 3744, SIST EN ISO 3746 in metoda za določanje ravni zvočne moči na podlagi računskih metod v povezavi s SIST ISO 1996-2:2017 je določen v omenjenih standardih. Uporaba metod v primeru sosedskih ali drugih sporov večinoma ni primerna.

5.4. Razvoj enostavne metode za aplikacijo namenjeno ocenjevanju ravni hrupa pred izpostavljenim objektom na podlagi izračuna

V Avstriji, Švici in Nemčiji poznajo aplikacije, ki jih vzdržujejo nacionalna združenja toplotnih črpalk. Spletne aplikacije temeljijo na poenostavljenem računskem modelu razširjanje hrupa od zunanje enote toplote črpalke zrak-voda do imisijskega mesta in omogočajo izračun ocenjene imisijske ravni hrupa. V tem poglavju je prikazana uporaba aplikacij na vzorčnem primeru, kjer se črpalka nahaja na razdalji 15 m od mesta ocenjevanja. Predlagana je tudi metoda oziroma poenostavljen računski model, ki bi se lahko uporabljal v Sloveniji in upošteva akustične značilnosti toplotnih črpalk zrak-voda vključno s pojavnostjo poudarjenih nizkofrekvenčnih tonov, ki so lahko bolj izraziti v nočnem času.

5.4.1. Aplikacije za izračun imisijskih ravni hrupa L_r v Avstriji, Švici in Nemčiji

Aplikacije za izračun imisijskih ravni hrupa L_r v Avstriji, Švici in v Nemčiji temeljijo poenostavljenem računskem postopku, ki upošteva del parametrov, ki vplivajo na slabljenje pri razširjanju zvoka od naprave proti mestu ocenjevanja na podlagi računskih metod. Imisijska raven L_r se določi na podlagi A-vrednotene ravni zvočne moči L_{WA} naprave z upoštevanjem:

- razdalje med toplotno črpalko in mestom ocenjevanja r ,
- prisotnosti odbojnih površin oziroma indeksa usmerjenosti v okolici naprave D_Q ,
- popravkov K zaradi prisotnosti poudarjenih tonov in vrste vira hrupa kamor sodi tudi nizkofrekvenčne stalni hrup ter popravkov zaradi obdobja dneva (dan, noč),
- vpliva ovir oziroma pregrad ali protihrupnih ukrepov med toplotno črpalko in mestom ocenjevanja A_{ovira} .

Splošen poenostavljen računski model za izračun imisijske ravni L_r je tako enak:

$$L_r = L_{WA} + \Delta L - 11 - 20 \times \log_{10}(r) + D_Q - A_{ovira} + \sum K$$

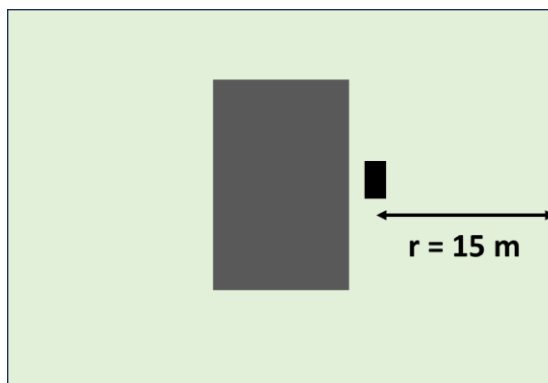
kjer je $\sum K$ vsota popravkov, ki ločeno obravnavajo prisotnosti poudarjenih tonov in vrste vira hrupa kamor sodi tudi nizko-frekvenčne stalni hrup ter popravkov zaradi obdobja dneva (dan, noč).

V Švici uporabljajo še člen oziroma popravek K_1 zaradi dela dneva in vrste vira, ki znaša +5 dB(A) v dnevnem in +10 dB(A) nočnem času.

V Avstriji poznajo popravek L_Z zaradi poudarjenega tona v popravku se upoštevajo tudi druge moteče akustične lastnosti zvoka kot so impulzi, cviljenje ali nizkofrekvenčne komponente hrupa. V splošnem se uporablja popravek $L_Z = +5$ dB(A).

V Nemčiji uporabljajo še popravek K_R v vrednosti +6 dB(A) za obdobja povečane občutljivosti na hrup, ki se upošteva samo pri izračunu v dnevnem času.

Uporabo aplikacij za izračun imisijske ravni se lahko zopet prikaže za toplotno črpalko, ki jo postavimo ob steno hiše (na razdalji 1 m od fasade) in je od mesta ocenjevanja oddaljena za 15 metrov. Situacija je shematsko prikazana na sliki 5.4.1.1.



Slika 5.4.1.1: toplotna črpalka (črn kvadrat), ki je postavljena ob fasadi objekta (siv kvadrat) in se nahaja na oddaljenosti 15 m od mesta ocenjevanja.

Emisijski podatki, ki jih lahko najdemo v tehnični specifikaciji naprave ali jih poda proizvajalec so podani v tabeli 5.4.1.1.

Tabela 5.4.1.1: emisijske lastnosti zunanje enote toplotne črpalke zrak-voda.

Obratovalni pogoj	Raven zvočne moči L_{WA} v dB(A)
A7W35 po EN 12102	53
A2W35	58
Maksimalna obremenitev	62

Izračun se opravi ločeno za dnevni čas in za nočni čas s pomočjo poenostavljenega modela za izračun imisijske ravni L_T . Lahko se izvede tudi z uporabo aplikacij:

- <https://www.waermepumpe-austria.at/schallrechner>
- <https://www.fws.ch/laerschutznachweis/>
- <https://www.waermepumpe.de/werkzeuge/schallrechner/>

Izračun in vrednosti posameznih členov za dnevni oziroma nočni čas so prikazani v tabelama 5.4.1.2 oziroma 5.4.1.3.

Tabela 5.4.1.2: Izračun in vrednosti posameznih členov za dnevni čas v različnih državah.

Parameter	Avstrija	Nemčija	Švica	Opomba
L_{WA}	62	62	58	Švica ima nižjo vrednost saj kot vhodni podatek uporablja raven zvočne moči pri pogoju W2A35. Avstrija in Nemčija uporabljata maksimalno raven zvočne moči.
r	15	15	15	Oddaljenost od mesta imisije.
D_Q	6	6	6	Vse države uporabljajo enak indeks usmerjenosti za črpalko ob fasadi.
K_T	-	0	+2	V Švici je možna uporaba drugih popravkov (+4 ali +6). Nemčija v aplikaciji ne ponuja možnosti izbire popravka.
A_{ovira}	0	0	0	Ni ovir.
K_1	-	-	5	Specifična korekcija, ki se uporablja le v Švici.
L_Z	5	-	-	Specifična korekcija, ki se uporablja v Avstriji. Vključuje poudarjene tone in druge značilnosti vira hrupa.
K_R	-	6	-	Specifična korekcija, ki se uporablja le v Nemčiji.
$L_{r,dan}$	38,5	39,5	36,5	Izračun za Švico je najnižji, ker je uporabljena nižja raven zvočne moči in majhen popravek zaradi poudarjenega tona. Popravek, bi bil lahko višji, kar lahko določi proizvajalec.
Priporočene načrtovalske ravni hrupa za stanovanjska območja (analogno III. stopnji varstva pred hrupom)	45	55	55	
Priporočene načrtovalske ravni hrupa čista stanovanjska območja (analogno II. stopnji varstva pred hrupom)	40	50	50	

Tabela 5.4.1.3: Izračun in vrednosti posameznih členov za nočni čas v različnih državah.

Parameter	Avstrija	Nemčija	Švica	Opomba
L_{WA}	62	62	58	Švica ima nižjo vrednost saj kot vhodni podatek uporablja raven zvočne moči pri pogoju W2A35. Avstrija in Nemčija uporabljata maksimalno raven zvočne moči.
r	15	15	15	Oddaljenost od mesta imisije.
D_Q	6	6	6	Vse države uporabljajo enak indeks usmerjenosti za črpalko ob fasadi.
K_T	-	0	+2	V Švici je možna uporaba drugih popravkov (+4 ali +6). Nemčija v aplikaciji ne ponuja možnosti izbire popravka.
A_{ovira}	0	0	0	Ni ovir.
K_1	-	-	10	Specifična korekcija, ki se uporablja le v Švici.
L_Z	5	-	-	Specifična korekcija, ki se uporablja v Avstriji. Vključuje poudarjene tone in druge značilnosti vira hrupa.
K_R	-	0	-	Specifična korekcija, ki se uporablja le v Nemčiji.
$L_{r,noč}$	38,5	33,5	41,5	Izračun za Švico je najvišji, kljub uporabljeni najnižji ravni zvočne moči in majhnega popravka zaradi poudarjenega tona. Popravek, bi bil lahko še višji, kar lahko določi proizvajalec. Izračunana ocenjena imisijska raven hrupa za Nemčijo v nočnem času je najnižja. V Nemčiji je večji poudarek na zaščiti okolja pred hrupom v dnevnem času.
Priporočene ravni hrupa za stanovanjska območja (analogno III. stopnji varstva pred hrupom)	35	40	45	Ravni hrupa so presežene v Avstriji. Ravni hrupa bi bile lahko presežene v Švici, če bi se izbrala višja vrednost popravka zaradi poudarjenih tonov. Trenutno se uporablja popravek +2 dB(A), možna je uporaba drugačnega popravka.
Priporočene ravni hrupa čista stanovanjska območja (analogno II. stopnji varstva pred hrupom)	30	35	40	Ravni hrupa so presežene v Avstriji in Švici.

Kljub temu, da aplikacije združenj toplotnih črpalk v Avstriji, Nemčiji in v Švici uporabljajo podoben poenostavljen računski model, vidimo, da se rezultati izračuna precej razlikujejo tako v nočnem kot v dnevnem času kar kaže na različne pristope k ocenjevanju hrupa tudi v fazi načrtovanja:

- Imisijske ravni hrupa v nočnem času se v Avstriji in Švici razlikujejo za 10 dB(A), vendar se v Švici uporablja popravek K_1 v vrednosti 10 dB(A), kar pomeni, da so imisijske ravni v resnici

izenačene. Avstrija in Švica imata tudi strožje priporočene ravni hrupa v nočnem času, kar kaže na večjo zaščito stanovalcev pred hrupom toplotnih črpalk v nočnem času.

- Nemčija uporablja popravek K_R v dnevnem času zaradi česar je hrup toplotnih črpalk strožje obravnavan v dnevnem kot v nočnem času, kar pa ne odraža načina obratovanja toplotnih črpalk.
- Nobena država pri načrtovanju ne uporablja deklarirane ravni zvočne moči, ki jo lahko najdemo na energijski nalepki in jo tipično najdemo v tehničnih specifikacijah.
- Švicarska aplikacija uporablja nižjo raven zvočne moči pri pogoju A2W35, vendar je to uvedla z 1. 11. 2024. Pred tem so uporabljali maksimalno raven zvočne moči, kar bi lahko kazalo na izboljšanje stanja glede na prejšnja leta in trud proizvajalcev.
- Aplikacije za izračun imisijskih ravni hrupa na osnovi ravni zvočne moči urejajo in vzdržujejo nacionalna združenja toplotnih črpalk.

5.4.2. Predlog poenostavljenega modela za Slovenijo

Tudi v slovenskem okolju je smiselna uporaba podobnega poenostavljenega računskega modela in sicer kot:

$$L_r = L_{WA} - 11 - 20 \times \log_{10}(r) + D_Q - A_{ovira} + K_T + K_I + K$$

Imisijska raven L_r se določi na podlagi A-vrednotene ravni zvočne moči L_{WA} naprave z upoštevanjem:

- razdalje med toplotno črpalko in mestom ocenjevanja r ;
- prisotnosti odbojnih površin oziroma indeksa usmerjenosti v okolici naprave D_Q ;
- vpliva ovir oziroma pregrad ali protihrupnih ukrepov med toplotno črpalko in mestom ocenjevanja A_{ovira} ;
- popravka zaradi prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa in poudarjenih tonov K_T ;
- popravka zaradi prisotnosti izrazitih impulzov tonov K_I ;
- popravka K zaradi drugih akustičnih lastnosti naprave, ki bi lahko pomenile povečano vznemirjenost kot so na primer intermitenca, prehodni pojavi, resonančni efekti. V popravku bi bilo lahko upoštevana tudi dovoljena odstopanja od deklarirane zvočne moči in drugi efekti povezani z inštalacijo in staranjem.

5.5. Upoštevanje psihoakustičnih popravkov zaradi tonalnosti, nizkofrekvenčnega hrupa, impulzov, časa obratovanja

Pri izbiri parametrov izračuna:

- raven zvočne moči L_{WA} ;
- popravek zaradi prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa in poudarjenih tonov K_T ;
- popravek zaradi prisotnosti izrazitih impulzov tonov K_I ;
- popravkov zaradi drugih akustičnih lastnosti naprav K ;

se je potrebno posvetovati s proizvajalcem naprave, pooblaščenim vzdrževalcem ali inštalaterjem.

Če teh podatkov ni možno pridobiti se priporoča uporaba naslednjih parametrov:

- Maksimalna raven zvočne moči L_{WA} .
- Popravek zaradi prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa in poudarjenih tonov $K_T = 6 \text{ dB(A)}$.
- Popravek zaradi prisotnosti izrazitih impulzov $K_I = 0 \text{ dB(A)}$.
- Popravek zaradi drugih akustičnih lastnosti naprav, ki so jasno razpoznavni v primerjavi s hrupom ozadja je enak:
 - $K = 3 \text{ dB(A)}$ na mestu ocenjevanja, kjer so prisotni drugi viri stalnega hrupa, ki obratujejo v nočnem času ali pa v bližini avtoceste. Vendar ta mesta ne smejo biti v akustični senci glede na položaj drugih virov stalnega hrupa ali avtoceste;
 - $K = 6 \text{ dB(A)}$ v drugih primerih.

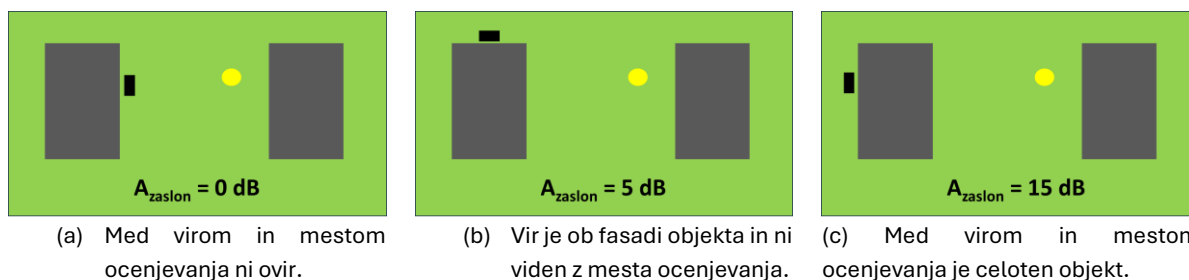
Vpliv ovir oziroma pregrad ali protihrupnih ukrepov med toplotno črpalko in mestom ocenjevanja A_{ovira} se določi kot:

- če se črpalka nahaja ob fasadi, ki ni vidna z mesta ocenjevanja je popravek $A_{ovira} = 5 \text{ dB(A)}$;
- če je med črpalko in mestom ocenjevanja celoten objekt, potem je popravek $A_{ovira} = 15 \text{ dB(A)}$;

Za ograje, in podobne konstrukcijske rešitve, ki niso nameščene skladno s specifikacijami proizvajalca in zelene zasaditve se popravek ne upošteva oziroma je njegova vrednost enaka nič.

Obstoječe zidane ograje se lahko v nekaterih primerih upoštevajo kot zaslon, kar pa je odvisno od sestave ograje, stanje ograje in dimenzij. Učinkovitost bi moral potrditi strokovnjak s področja akustike okolja in protihrupnih ukrepov.

Določanje popravka A_{ovira} je shematsko prikazan na sliki 5.5.1.



Slika 5.5.1: vpliv ovire med toplotno črpalko (črn kvadrat) in mestom imisije (rumen krog).

Pri ocenjevanju se priporoča, da se prevzame, da toplotna črpalka deluje kontinuirano. Delovanje je odvisno od zunanjih pogojev in porabe toplote, kar pa ni v celoti pod nadzorom lastnika toplotne črpalke. Toplotne črpalke, ki bi sicer lahko dosegale zahteve glede mejnih ravni hrupa ob uporabi časovnega popravka se ne morejo jemati kot ustrezne. Upoštevanje časovnega popravka bi bilo smiselno v primeru, če proizvajalec lahko nedvoumno dokaže omejitev glede časa obratovanja.

Izračun se lahko opravi ločeno v dnevnem, večernem in nočnem času pri čemer se lahko spreminjajo tudi vrednosti posameznih parametrov izračuna.

Izračun lahko prikažemo na primeru toplotne črpalke in podatkov, ki so bili uporabljeni v prejšnjem poglavju.

Parameter	Slovenija	Opomba
L_{WA}	62	Uporabljena je maksimalna raven zvočne moči.
r	15	Oddaljenost od mesta imisije.
D_Q	6	Vse države uporabljajo enak indeks usmerjenosti za črpalko ob fasadi.
K_T	0	Popravek zaradi poudarjenih tonov v frekvenčnem območju med 500 Hz in 20000 Hz.
A_{ovira}	0	Ni ovir.
K_T	+6	Popravek zaradi poudarjenih tonov v frekvenčnem območju med 20 Hz in 400 Hz. Uporabljen je maksimalni popravek.
K	+6	Črpalka bo zaznavna na imisijskem mestu. Upoštevano je tudi morebitno odstopanje od deklarirane zvočne moči.
$L_{r,noč}$	45,5	Ocenjena imisijska raven hrupa. Rezultat izračuna se ujema z rezultatom Švicarskega modela, če bi se v Švicarskem modelu upoštevala maksimalne ravni zvočne moči naprave.
Protihrupni ukrepi	V primeru, če so normativne ravni presežene bi bilo potrebno bi bilo izvesti protihrupne ukrepe. V vsakem primeru bi bilo potrebno premisliti o preventivnih ukrepih	Pri tem bi bilo potrebno upoštevati vsaj naslednje primarne ukrepe: - Prestaviti črpalko na mesto, kjer bi bilo med črpalko in mestom ocenjevanja ovira, ki zniža hrup za 15 dB(A) ali 5 dB(A). - Povečati razdaljo med črpalko in mestom ocenjevanja. - Izbrati drugo bolj primerno lokacijo, ki bi povzročala najnižje možne ravni hrupa. - Zamenjati črpalko s tišjim modelom z nižjo ravno zvočne moči. - Premisliti o namestitvi toplotne črpalke v notranjem prostoru.

5.6. Upoštevanje lokacije mesta ocenjevanja glede na obstoječo obremenitev okolja s hrupom (upoštevanje ozadja)

Informacija o obstoječi obremenitvi okolja s hrupom na specifični lokaciji, kjer je predvidena namestitve toplotne črpalke običajno ni na voljo. V vsakem primeru se pred izbiro in inštalacijo toplotne črpalke priporoča izvedba preliminarne meritve na mestu imisije. Namen preliminarne meritve je določitev ravni hrupa ozadja pred namestitvijo toplotne črpalke. Hrup ozadja v primeru ocenjevanja obremenitve s hrupom toplotnih črpalk zrak-voda je hrup, ki je posledica obratovanja oddaljenih virov hrupa, ki so sicer lahko bolj ali manj prepoznavni, pri tem pa se prispevek naključnih, izrazitih, bližnjih ali enkratnih dogodkov izloči. Hrup ozadja je tako raven hrupa na merilnem mestu pod katero splošna raven hrupa redko pade oziroma raven hrupa v času, ko se okolica zdi tiha. V sklopu preliminarne meritve se lahko hrup ozadja določi na podlagi dolgotrajnih meritev v dnevnem, večernem in nočnem času, pri čemer se namesto kazalcev hrupa ali ekvivalentnih ravni hrupa spremljajo percentilne ravni hrupa kot so na primer $L_{AF,90}$, $L_{AF,95}$ ali $L_{AF,99}$. Hrup ozadja je lahko tudi posledica naravnih pojavov kot so veter, dež, slapovi in močan tok rek. V primeru toplotnih črpalk se meritve hrupa ozadja običajno ne izvajajo pri premočnem vetru ali v času padavin, zaradi česar se tudi preliminarne meritve izvajajo pri nizki hitrosti vetra (npr. pod 2 m/s) in v času, ko ni padavin, pretok rek pa je reprezentativen.

Podatek o obstoječi ravni hrupa ozadja bi bil dobrodošel v vsakem primeru. Še bolj pomemben pa bi bil predvsem v okolju, kjer je obstoječa obremenitev s hrupom nizka in kjer je število hrupnih zvočnih dogodkov majhno. To so predvsem področja, ki so oddaljena od večjih virov hrupa in kjer je gostota prebivalcev nizka, pa tudi nekatere lokacije v poselitvenih območjih, ki se zaradi naravnih in drugih ovir nahajajo v akustični senci virov hrupa. Zelo tiha območja, kjer prevladujejo nizke ravni hrupa ozadja brez stalno prisotnih nizkofrekvenčnih komponent hrupa zaradi antropogenih virov, bi bilo smiselno dodatno zaščititi. Ali lahko neko območje smatramo kot tiho se lahko preveri, če se izvedejo dolgotrajne meritve in se ugotovijo dejanske ravni hrupa ozadja v dnevnem, večernem in nočnem času. V nekaterih študijah lahko najdemo tudi kriterije za maksimalno raven hrupa ozadja v dnevnem, večernem in nočnem času na podlagi meritev percentilnih ravni hrupa. V splošnem bi bila lahko tiha območja v nočnem času, območja, kjer je raven hrupa $L_{AF90,1h}$ v nočnem času nižja od 30 dB(A).

Tudi, če toplotna črpalka zrak – voda izpolnjuje zahteve glede normativnih vrednosti pa se lahko v primeru, če je naprava glasnejša (bolj zaznavna) od hrupa ozadja, pričakujejo motnje, ki postanejo bolj izrazite, čim bolj je osnovna raven presežena. V primeru preseganja obstoječih ravni hrupa na imisijskem mestu v nočnem času za 5 – 10 dB(A) se lahko pričakujejo škodljivi vplivi in jasen odziv okolice. Kljub doseganju normativov, je zato pri izbiri lokacije zunanje enote toplotne črpalke potrebno upoštevati načelo previdnosti. Pri izbiri toplotne črpalke zrak-voda in izbiri lokaciji zunanje enote bi bilo potrebno vključiti naslednje previdnostne ukrepe:

- Toplotna črpalka mora biti nameščena tako, da so imisije hrupa pred varovanimi prostori in na zunanjih območjih, kjer se ljudje zadržujejo, čim nižje.
- Lokacijo je potrebno izbrati tako, da je z imisijami hrupa prizadetih čim manj ljudi.

- Toplotno črpalko je smiselno postaviti na mesto, kjer že obstajajo drugi viri hrupa (npr. ulice), s čimer se zaščitijo mirna in tiha območja pred novim virom hrupom.
- Toplotna črpalka zrak-voda naj se ne namesti v bližini oken ali vrat varovanih prostorov sosednjega stanovanjskega objekta.
- Pri izbiri lokacije je potrebno izkoristiti mesta, kjer se med virom hrupa in mestom imisije že nahajajo naravne in druge ovire.

5.7. Računska oprema oziroma orodje za izračun hrupa, ki bi ga lahko uporabili instalaterji (za potrebe online aplikacije)

Pri izračunu posebna namenska računska oprema ni potrebna.

5.8. Izbor računske metode in zahtev v primeru, ko gre za kompleksno situacijo, ki je ne moremo obravnavati v sklopu enostavne računske metode, (za potrebe online aplikacije).

Poenostavljen izračun je smiselno uporabiti v enostavnih primerih, ko je teren med zunanjo enoto toplotne črpalke zrak-voda in mestom ocenjevanja raven, ko je razdalja med zunanjo enoto toplotne črpalke zrak-voda in mestom ocenjevanja kratka in, ko med črpalko in mestom ocenjevanja ni ovir (razen stanovanjskega objekta).

Ko gre za bolj kompleksno situacijo vključno s potrebo po dodatnih ukrepih se je smiselno posvetovati s strokovnjakom s področja okoljske akustike. V takih primerih je potrebno upoštevati tudi druge parametre, ki vplivajo na slabljenje hrupa pri razširjanju v okolju. Pri tem je potrebno uporabiti naprednejše računske metode kot je na primer metoda iz Priloge II Direktive 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. junija 2002 o ocenjevanju in upravljanju okoljskega hrupa (UL L št. 189 z dne 18. 7. 2002, str. 12), nazadnje spremenjene z Delegirano direktivo Komisije (EU) 2021/1226 z dne 21. decembra 2020 o spremembi Priloge II k Direktivi 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede skupnih metod ocenjevanja hrupa zaradi prilagoditve znanstvenemu in tehničnemu napredku (UL L št. 269 z dne 28. 7. 2021 str. 65) ali metodo, ki temelji na standardih SIST ISO 9613-1:1998, SIST ISO 9613-2:1997 ali ISO 9613-2:2024. Poenostavljen izračun tudi ne more nadomestiti strokovne ocene, ki je potrebna v primeru suma na preseganje normativov.

5.9. Zaključek

V tej fazi je predstavljen poenostavljen računski postopek za določitev ocenjene imisijske ravni hrupa zaradi obratovanja toplotne črpalke na mestu ocenjevanja, ki bi se lahko uporabljal v fazi načrtovanja sistema s toplotno črpalko zrak-voda. Izračun upošteva raven zvočne moči zunanje enote toplotne črpalke zrak-voda, lokacijo zunanje enote in oddaljenost od mesta ocenjevanja. Upoštevani so tudi popravki. Med popravki imajo ključno vlogo popravki zaradi prisotnosti poudarjenih nizkofrekvenčnih tonov, akustičnih lastnosti toplotnih črpalk, ki so jasno zaznavni v primerjavi s hrupom ozadja ter upoštevajo dovoljena odstopanja od laboratorijsko izmerjenih maksimalnih ravni zvočne moči za katere je odgovoren proizvajalec. Rezultat izračuna se v splošnem ujema z rezultatom Švicarskega modela, če bi se v Švicarskem modelu upoštevala maksimalne ravni zvočne moči naprave. Pred namestitvijo toplotne črpalke zrak-voda je potrebno razmisliti tudi o ravneh hrupa ozadja. Kljub doseganju normativnih omejitev je potrebno upoštevati načelo previdnosti.

Viri:

- [1] SIST ISO 1996-2:2007. Akustika - Opis, merjenje in ocena hrupa v okolju - 2. del: Določanje ravni hrupa v okolju.
- [2] SIST ISO 1996-2:2017. Akustika - Opis, merjenje in ocena hrupa v okolju - 2. del: Določanje ravni zvočnega tlaka.
- [3] SIST ISO 1996-1:2016. Akustika - Opis, merjenje in ocena hrupa v okolju - 1. del: Osnovne veličine in ocenjevalni postopki.
- [4] ISO 9613-2:2024 - Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: Engineering method for the prediction of sound pressure levels outdoors
- [5] SIST ISO 9613-1:1998. Akustika - Slabljenje zvoka pri širjenju na prostem - 1. del - Metoda za računanje slabljenja zvoka zaradi atmosferske absorpcije
- [6] SIST ISO 9613-2:1997. Akustika - Slabljenje zvoka pri širjenju na prostem - 2. del: Splošna računska metoda
- [7] ISO/PAS 1996-3:2022. Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 3: Objective method for the measurement of prominence of impulsive sounds and for adjustment of L_{Aeq}
- [8] Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Uradni list RS, št. 105/08 in 44/22 – ZVO-2)
- [9] Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 43/18, 59/19 in 44/22 – ZVO-2)
- [10] Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (Uradni list RS, št. 121/04, 59/19, 44/22 – ZVO-2 in 53/22)
- [11] Priloga II Direktive 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 25. junija 2002 o ocenjevanju in upravljanju okoljskega hrupa (UL L št. 189 z dne 18. 7. 2002, str. 12), nazadnje spremenjene z Delegirano direktivo Komisije (EU) 2021/1226 z dne 21. decembra 2020 o

spremembi Priloge II k Direktivi 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta glede skupnih metod ocenjevanja hrupa zaradi prilagoditve znanstvenemu in tehničnemu napredku (UL L št. 269 z dne 28. 7. 2021 str. 65)

- [12] ISO/TS 20065:2022. Acoustics — Objective method for assessing the audibility of tones in noise — Engineering method.
- [13] ISO/PAS 20065:2016. Acoustics — Objective method for assessing the audibility of tones in noise — Engineering method
- [14] BS 4142:2014+A1:2019. Methods for rating and assessing industrial and commercial sound.
- [15] ÖNORM S 5021
- [16] DIN 45680, March 1997, Measurement and evaluation of low-frequency environmental noise.
- [17] Mirowska, M., 2001. Evaluation of low-frequency noise in dwellings. New Polish recommendations. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 20(2), pp.67-74.
- [18] Moorhouse, A.T., Waddington, D.C. and Adams, M.D., 2005. Proposed criteria for the assessment of low frequency noise disturbance.
- [19] Van den Berg G P and Passchier-Vermeer W, Assessment of low frequency noise complaints, Proc. Internoise99, 1999.
- [20] Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps.
- [21] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm). https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26081998_IG19980826.htm
- [22] Ermittlung der Geräuschimmissionen. <https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/BMU-IG-19980826-KF01-A001.htm>
- [23] <https://www.waermepumpe-austria.at/schallrechner>
- [24] <https://www.fws.ch/laermschutznachweis/>
- [25] <https://www.waermepumpe.de/werkzeuge/schallrechner/>
- [26] Meetmethode geluid van buiten opgestelde installaties voor warmte- of koudeopwekking <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2020/09/23/meetmethode-geluid-van-buiten-opgestelde-installaties-voor-warmte--of-koudeopwekking>
- [27] Cercle Bruit (<https://www.cerclebruit.ch/?inc=enforcement&e=6/621.html>)
- [28] www.produktdatenbank-get.at

6. Faza 6: predlog protihrupnih ukrepov

Pred izbiro in namestitvijo toplotne črpalke zrak-voda je potrebno preučiti protihrupne ukrepe s katerimi se lahko obvladujejo tveganja zaradi emisij hrupa v okolje. Protihrupne ukrepe lahko delimo na primarne, ki se izvajajo na viru, sekundarne, s katerimi skušamo preprečiti prenos zvoka od vira k imisijskem mestu in terciarne, ki jih izvajamo pri in na izpostavljenem objektu. V primeru toplotnih črpalk so najpomembnejši primarni in sekundarni ukrepi.

Protihrupne ukrepe je priporočljivo obravnavati že v fazi načrtovanja in jih upoštevati tudi, če normativne ravni hrupa niso presežene. V primeru hrupa toplotnih črpalk zrak-voda je smiselno upoštevati tudi vrstni red ukrepov. Prvi na vrsti je primarni ukrep, ki se nanaša na izbiro tihe toplotne črpalke. Temu sledijo sekundarni ukrepi, ki vključujejo izbiro ustrezne lokacije zunanje enote toplotne črpalke zrak-voda in izkoriščanje obstoječe pozidave in topografije terena kot protihrupni zaslon. Sledijo ukrepi, ki so povezani z inštalacijo sistema s toplotno črpalko znotraj in izven stavbe. Nazadnje je potrebno premisliti o izvedbi dodatnih sekundarnih ukrepov za povečanje zvočne izolacije in o ukrepih namenjenih preprečevanju razširjanja hrupa v okolje. Izvedba slednjih, ki vključuje postavitve dodatnih protihrupnih ograj in okrovov je povezana z določenimi prostorskimi zahtevami, kar je potrebno upoštevati že pri izbiri lokacije naprave. Najmanj učinkoviti so terciarni ukrepi, kjer skušamo povečati zvočno izolacijo objekta, ki je izpostavljen hrupu toplotne črpalke z zamenjavo oken ali vrat. Terciarni ukrepi v primeru toplotnih črpalk niso predvideni in jih zato ne obravnavamo.

Namen te faze je predstavitev protihrupnih ukrepov, ki jih je potrebno upoštevati že v fazi načrtovanja.

6.1. Primarni ukrepi

Primarni ukrepi so ukrepi za znižanje hrupa s posegi na viru. S primarnimi ukrepi zmanjšujemo ali odstranjujemo mehanizme generiranja hrupa, ali pa jih razklopimo od prenosnih medijev, tako da v končni fazi izsevajo manjšo zvočno moč. Možnost izvajanja protihrupnih ukrepov imajo vrsti proizvajalci toplotnih črpalk, ki lahko v fazi razvoja črpalke predvidijo protihrupne ukrepe za glavne vire hrupa kot so ventilator, kompresor, uparjalnik in ohišje ter tudi ekspanzijski ventil.

Pri izbiri ventilatorja se priporoča izbira aerodinamsko optimiziranega ventilatorja, ki je konstruiran tako, da pri obratovanju ne prihaja do neželenih resonančnih efektov. Priporoča se uporaba ventilatorja z večjim premerom, ki se lahko vrti počasneje in generira manj hrupa.

Pri vgradnji kompresorja je potrebo poskrbeti za njegovo proti-vibracijsko izolacijo. Kompresor je potrebno namestiti na površino, ki je ločena od zunanjega ohišja črpalke oziroma je na ohišje pritrjena elastično z uporabo proti-vibracijske podloge. Dodatno je potrebno poskrbeti za zvočno izolacijo kompresorja, ki naj vključuje plast zraka, plast absorpcijskega materiala in ohišje z dovolj

veliko maso, kot je to prikazano na sliki 6.2.3. Še bolje je, če se kompresor ne nahaja v zunanji enoti črpalke, ampak se namesti v notranjost objekta.

Pri izbiri uparjalnika je pomembna njegova površina. Pri tem se priporoča uparjalnik z večjo površino s čimer se poveča efektivna površina med zrakom in hladivom. Prehajanje toplote je na ta način hitrejši, zaradi večje razdalje med rebri se zmanjša verjetnost za nastanek zmrzali/sreža. Efektivna površina se lahko poveča tudi z dodatnim naklonom uparjalnika in obliko lamel. Ti dodatni geometrijski elementi imajo lahko pomembno vlogo tudi v primeru sreženja in procesu odtaljevanja.

Ohišje toplotne črpalke mora zagotavljati dovolj veliko zvočno izolirnost, da se hrup, ki nastane v notranjosti ne širi navzven, kar se zagotavlja z maso, togostjo in dodajanjem absorpcijskega materiala na notranji strani.

Pomembno je tudi krmiljenje kompresorja in ventilatorja. Priporoča se višja frekvenca vrtenja kompresorja, ki pomeni manj nizkofrekvenčnega hrupa. Pri tem pa je potrebno paziti, da ne pride do neželjenih učinkov zaradi lastne dinamike kompresorja in ventilatorja, kar se lahko do neke mere obvladuje tudi z ustreznim krmiljenjem.

Po drugi strani se lahko vrtilni frekvenci kompresorja in ventilatorja omejita s čimer pa se lahko zmanjša učinkovitost in izhodna toplotna moč črpalke, kar se v nekaterih primerih lahko izkorišča pri delovanju črpalke v za hrup bolj občutljivih delih dneva. Izvedljivosti tega ukrepa in uporabe črpalke v t.i. tihem načinu je potrebno dokazati z uporabo npr. timer-ja.

Proizvajalci, ki so poskrbeli za izvedbo primarnih ukrepov lahko ponudijo črpalke katerih zvočna moč je nižja, kar je tudi najučinkovitejši ukrep za zmanjšanje emisij hrupa.

Z vidika obremenjenosti okolja s hrupom je najpomembnejši ukrep, ki ga je potrebno predvideti v fazi načrtovanja sistema s toplotno črpalko izbira naprave s čim nižjo ravno zvočne moči. V nekaterih primerih je potrebno premisliti tudi o drugih tipih toplotnih črpalk.

Učinek tega protihrupnega ukrepa je zelo pomemben in znaša lahko tudi do 30 dB(A), saj so razlike v deklariranih ravneh zvočne moči toplotnih črpalk različnih proizvajalcev in tudi modelov istih proizvajalcev velike.

6.2. Sekundarni ukrepi

Ukrepi s posegi na poti prenosa zvoka od vira k izpostavljenemu prostoru se imenujejo sekundarni ukrepi. Učinek sekundarnih ukrepov je odvisen od situacije na terenu in vključuje izbiro primerne lokacije zunanje enote toplotne črpalke in izkoriščanje obstoječih objektov in ovir. Med sekundarne ukrepe štejemo tudi dodatno namestitvev protihrupnih okrovov in pregrad, ki so del systemske rešitve proizvajalca ali pod nadzorom strokovnjaka s področja protihrupnih ukrepov in protihrupne ukrepe za zmanjšanje hrupa, ki se iz notranjosti objekta širi preko fasadnih odprtín in prezračevalnih kanalov za dovod in odvod zraka in protihrupni ukrepi pri namestitvi toplotnih črpalk v notranjosti stavb.

Slednji so pomembni predvsem pri obravnavi hrupa, ki se širi po konstrukciji ali zraku v notranjosti objekta. Izvedba sekundarnih ukrepov zahteva dodaten prostor, ki ga je potrebno načrtovati že pri postavitvi zunanje enote toplotne črpalke zrak-voda.

6.2.1. Izbira primerne lokacije toplotne črpalke in izkoriščanje obstoječih objektov in ovir

Med sekundarnimi ukrepi je najpomembnejša izbira lokacije toplotne črpalke. Protihrupni učinek je ocenjen kot pomemben in lahko pripomore k zmanjšanju hrupa tudi do 25 dB(A). Pri izbiri lokacije je potrebno upoštevati naslednje:

- O lokaciji zunanje enote toplotne črpalke, lokaciji prezračevalnih jaškov ali fasadnih odprtin je potrebno razmišljati čim prej.
- Pri izbiri lokacije si lahko pomagamo z uporabo enostavnega izračuna razširjanja hrupa od toplotne črpalke do mesta imisije (npr. na parcelni meji). V večini primerov ni mogoče izpolniti zahtev glede imisije hrupa v nočnem času, če se črpalka namesti na parcelno mejo zato je določena razdalja do parcelne meje nujna.
- Črpalka naj se nahaja čim dlje od sosednje parcele.
- Če je mogoče naj bo črpalka nameščena na lokacijo, ki je izven vidnega polja sosedov oziroma naj bo pred pogledom sosedov zaščitena z objekti, kot so hiša, betonske ali opečnate stene, garaže itd. Na ta način bo razširjanje hrupa do sosednje parcele ovirano.
- Črpalka naj se ne bo nameščena na gradbenih elementih, ki so strukturno povezani s sosednjimi prostori z varovanimi objekti (skupnih stenah, stropih, tleh, kanalih).
- Črpalko je potrebno namestiti na čim bolj togo in težko konstrukcijo. Lahke stene in strehe se zlahka premikajo in ustvarjajo hrup. Zato se je potrebno izogibati montaži toplotne črpalke na lahke stene iz mavca, lesa ipd.
- Če je možno, je treba prostor za namestitev v notranjosti objekta izbrati tako, da se ne nahaja v območju prostorov, občutljivih na hrup (dnevna soba in spalnica).
- Toplotne črpalke naj bo nameščena na mesto, ki ni obdano s površinami od katerih se zvok lahko odbija v okolje (npr. v vogalu med tremi stenami). Izogibati se je potrebno vogalom in notranjim dvoriščem. Manjše kot je dvorišče, večji je vpliv odbojev zaradi katerih se hrup poveča.
- Smer toka zraka naj ne bo usmerjena proti sosednjim parcelam, oknom ali vratom.
- Črpalko naj se namestiti na mesto, kjer je dovolj prostora za neoviran pretok zraka in tudi za morebitno izvedbo dodatnih protihrupnih ukrepov, kot je na primer pregrada ali okrov.
- Toplotno črpalko naj se ne namesti v bližino oken ali vrat (tako svojih kot sosedovih). Okna in vrata imajo manjšo zvočno izolirnost kot stene, in jih je mogoče odpreti.

6.2.2. Protihrupni ukrepi pri namestitvi toplotnih črpalk v notranjosti stavb in izven stavb

Pri namestitvi naj se upoštevajo protihrupni ukrepi, ki so namenjeni izolaciji pred hrupom obratovalne opreme, kot so predvideni v Tehnični smernici TSG – 1 – 005: 2012 Zaščita pred hrupom v stavbah. Protihrupni učinek je ocenjen kot pomemben in lahko pripomore k zmanjšanju hrupa tudi do 20 dB(A).

Zaradi preprečitve neposrednega vzbujanja vibracij gradbene konstrukcije naj bo toplotna črpalka nameščena na masivno, togo in homogeno konstrukcijo preko elastičnih podpor s čemer se preprečuje prenos vibracij. V splošnem se je potrebno izogibati tlom in gradbenim elementom, ki so občutljiva na vibracije (lahki stropi/tla, lesene terase).

Za notranjo montažo je najprimernejša podlaga, ki je ločena od sten, stropa in inštalacij in ima veliko maso. Črpalka pa naj bo na podlago pritrjena s pravilno dimenzionirano proti-vibracijsko zaščito.

Montaža zunanje enote toplotne črpalke zrak-voda na steno naj se izvaja le v skladu s specifikacijami proizvajalca. Pri tem je potrebno paziti, da se uporabljajo nosilci in proti-vibracijska izolacija, ki je skladna z navodili proizvajalca. Nameščanje toplotnih črpalk na steno brez ustrezne zaščite pred hrupom, ki se prenaša po konstrukciji se ne bi smelo izvajati, saj se pogosto zgodi, da se hrup in vibracije v takšnih razmerah povečajo. Razmisliti je potrebno tudi o konstrukciji nosilca, ki črpalko nameščeno na višino poveže s tlemi.

Dovodni in odvodni kanali iz toplotne črpalke, ki je nameščena v notranjosti naj bodo z ostalim sistemom prezračevalnih kanalov povezani preko fleksibilnega dela.

Uporabijo naj se protihrupni ukrepi, kjer se zmanjša neposredno vzbujanje gradbene konstrukcije pri inštalaciji toplotne črpalke, kanalov, obtočne črpalke, izmenjevalca toplote, boilerjev in cevi. Obratovalna oprema naj bo na gradbene elemente (stene, tla, strop) pritrjena elastično, če je mogoče naj se prepreči neposreden stik. V splošnem mora biti obratovalna oprema v sklopu sistema toplotne črpalke zrak-voda (vključno z zunanjo enoto, cevmi talnega gretja, obtočne črpalke, izmenjevalca toplote in boilerjev,...) vgrajena skladno z navodili proizvajalca. Za izvedbo je odgovoren izvajalec, za projektiranje je odgovoren projektant. Če navodil proizvajalca ni morata projektant in izvajalec določiti zahteve za vgradnjo.

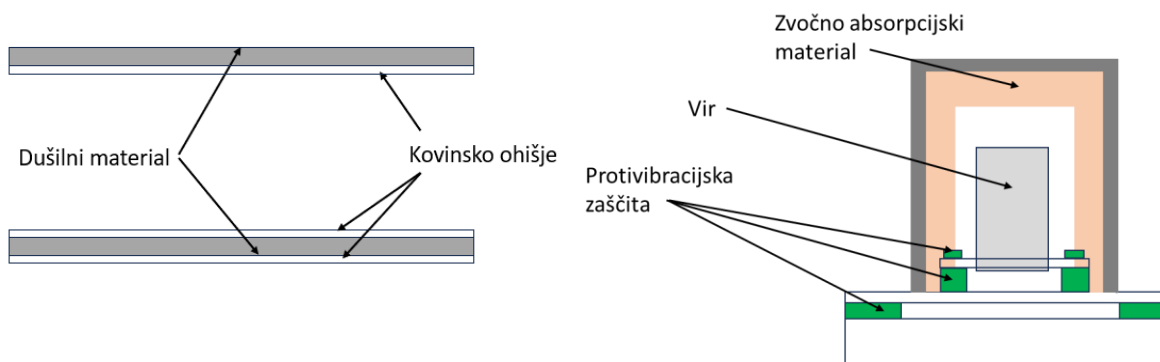
6.2.3. Dodatni protihrupni ukrepi na ohišju toplotne črpalke

Vibracije, ki izvirajo iz rotirajočih delov črpalke (kompresor in ventilator) se prenašajo na ohišje toplotne črpalke. Del vibracijske energije se potem preko ohišja izseva kot hrup. Pravimo, da ohišje v takih primerih deluje kot zvočnik. Ta pojav je bolj izrazit v primeru, ko je ohišje črpalke izdelano iz

lahkega in tankega materiala z majno maso, nizko togostjo in majno sposobnostjo dušenja vibracij. V takih primerih je najboljša rešitev ločitev ohišja od rotirajočih delov toplotne črpalke z namestitvijo proti- vibracijske izolacije, vendar je to pogosto terja velik poseg v konstrukcijo toplotne črpalke, ki ga lahko naredi le pooblaščenec proizvajalca. Tveganje, da bi ohišje črpalke delovalo kot zvočnik se lahko zmanjša z namestitvijo dušilnega materiala (npr. bitumenske folije) na notranjo stran ohišja, lahko tudi v sendvič konstrukciji. Dušilni material je potrebno namestiti na čim večjih površinah in poskrbeti za dober oprijem z ohišjem. Učinkovitost je večja, če se uporabljajo folije z večjo maso. Skica namestitve dušilnega materiala na ohišje je prikazana na sliki 6.2.3.

Hrup, ki nastane znotraj črpalke se v črpalci tudi ojača, saj ohišje deluje kot resonatorska votlina. Hrup v notranjosti in resonančne učinke se lahko zmanjša z namestitvijo absorpcijskega materiala z zadostno debelino. Pri tem je potrebno pokriti čim večji delež razpoložljive površine, predvsem, pa je potrebno prekriti površine v bližini hrupnih virov kot je na primer kompresor. Skica namestitve absorpcijskega materiala na notranjo stran ohišja je prikazana na sliki 6.2.3.

Oba ukrepa (namestitve dušilnega in absorpcijskega materiala) pomenita poseg v konstrukcijo toplotne črpalke. Izvedljivost obeh ukrepov je zato potrebno preveriti pri dobavitelju. Nekateri dobavitelji imajo tudi standardne rešitve, ki niso povezane z izgubo garancije. Učinek obeh ukrepov je odvisen od lastnosti uporabljenih materialov, njihove debeline in izolirane površine.



Slika 6.2.3.: Levo - Dušilni material (bitumenska folija) nameščen enostransko in v sendvič konstrukciji. Desno – debelejša plast zvočno absorpcijskega materiala na notranji strani ohišja v bližini vira hrupa (vir: Tehnična smernica TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah).

6.2.4. Protihrupni okrov oziroma kabina

Učinkovitost protihrupnih okrovov je odvisna od zvočne izolirnosti njenih sten, absorpcije na njihovih notranjih stenah, odprtih in prenosnih poti za strukturni zvok, pa tudi od njene povezave z zvočnim virom:

- svetla površina zračnih odprtih kabine mora biti čim manjša. Če ta na primer dosega 10% celotne površine kabine, potem celo v primeru uporabe visoko-izolacijskih materialov ne moremo doseči znižanje ravni hrupa za več kot 10 dB;
- na notranjih površinah okrova mora biti nameščen zvočno absorpcijski material s čimer povečamo protihrupen učinek okrova. Skica namestitve absorpcijskega materiala na notranjo stran okrova je prikazana na sliki 6.2.3;
- učinkovitost okrova je odvisna od frekvenčne karakteristike hrupa toplotne črpalke. Večji učinek dušenja hrupa z okrovom (do - 8 dB) je pričakovati v visokofrekvenčnem območju. Če prevladujejo nizkofrekvenčne komponente hrupa, se hrup lahko zniža le za okoli - 3 dB;
- protihrupni učinek dodatnega ohišja (okrova) je v večini primerov lahko ustrezen le, ko gre za sistemsko rešitev proizvajalca naprave. V tem primeru mora biti frekvenčno odvisen učinek okrova naveden posebej;
- paziti je potrebno, da s postavitvijo okrova ne naredite zamrzovalne komore in, da okrov zagotavlja ustrezen pretok zraka;
- pri projektiranju okrova se je potrebno posvetovati s proizvajalcem.

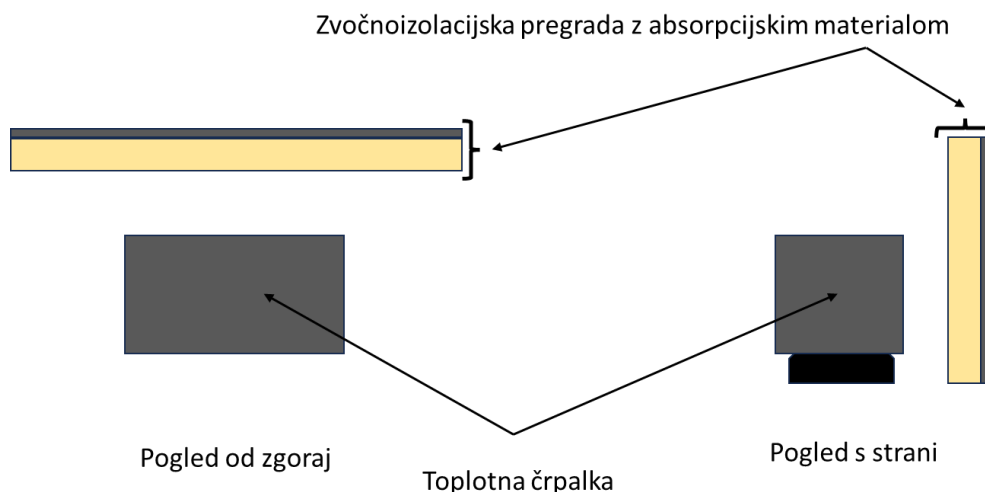
6.2.5. Protihrupna pregrada oziroma zaslon

Protihrupen učinek pregrade je odvisen od lokacije pregrade, dimenzij pregrade (širina, višina, debelina) in njenih akustičnih lastnosti, ki so odvisne od materialov iz katerih je ograja sestavljena. Učinek je odvisen še od lastnosti vira (dimenzija, lokacija, frekvenčna karakteristika).

- Dejanska lokacija, dimenzija in akustične lastnosti pregrade se lahko določijo glede na specifično situacijo na terenu. Protihrupna pregrada lahko zmanjša hrup na mestu imisije za okoli 5 - 20 dB, vendar pa je pri tem potrebno pri tem izpolniti nekaj osnovnih zahtev. Postavitev pregrade na slepo brez predhodnih analiz običajno ne prinese zadovoljivih rezultatov. Priporočljivo je, da se dimenzioniranje in izvedba pregrade prepusti izkušenemu izvajalcu.
- Pri izbiri lokaciji pregrade je potrebno upoštevati, da mora biti pregrada nameščena čim bližje toplotni črpalki.
- Učinek protihrupne ograje se bistveno zmanjša, če se črpalka nahaja ob odbojni površini (npr. fasadi) zaradi dodatnih odbojev zvoka med pregrado in odbojno površino.
- Velikost pregrade mora biti večja od dimenzij toplotne črpalke (na primer pregrada naj sega 50 cm preko roba črpalke). Pregrada mora prekrivati več kot celotno površino toplotne črpalke v smeri proti izpostavljenemu objektu. Če se teren oziroma tla dvigajo proti sosednjemu

objektu, se mora višina pregrade povišati, tako da črpalka ne bo vidna z mesta ocenjevanja. Pri tem je potrebno višino pregrade dodatno povečati zaradi učinka uklona, ki je v primeru prisotnosti nizkofrekvenčnega hrupa lahko izrazit.

- Pregrada se šteje kot pregrada, če je sestavljena iz ustreznih materialov:
 - pregrada mora biti izdelana iz materiala, katerega površinska gostota (produkt gostote in debeline) znaša najmanj 12 kg/m^2 oziroma dosega zvočno izolirnost $R'w = 25 \text{ dB}$. Kjer prevladujejo nizkofrekvenčne komponente hrupa, se učinkovitost protihrupnih pregrad bistveno zmanjša oziroma so potrebne bistveno bolj masivne stene in visoka stopnja pokritosti zaradi učinka uklona;
 - na strani, kjer se nahaja toplotna črpalka mora biti nameščen absorpcijski material (na primer mineralna volna debeline 100 mm), ki mora biti odporen na vplive okolja;
 - pregrada mora biti brez lukenj, odprtin ali poškodb;
 - žive meje (na primer drevesa, grmovje med črpalko in imisijskim mestom) se ne morejo upoštevati kot protihrupna pregrada;
 - nasipi iz zemlje, kamnov ali skal, ki izpolnjujejo zahteve glede dimenzij (višine, širine, debeline) in so brez lukenj ali odprtin se lahko obravnavajo kot protihrupna pregrada.



Slika 6.2.5.: toplotna črpalka s pregrado izdelana iz materiala z veliko zvočno izolirnostjo in debelo plastjo zvočno absorpcijskega materiala. Dimenzije pregrade moraj biti ustrezno projektirane glede na situacijo na terenu. Dimenzije pregrade so pogosto bistveno večje od dimenzije vira.

6.2.6. Protihrupni ukrepi za zmanjšanje hrupa, ki se iz notranjosti objekta širi preko fasadnih odprtín in prezračevalnih kanalov za dovod in odvod zraka

Izdelava jaška in postavitev kanala 1.5 m do 2 m pod višino tal. Učinek protihrupnega ukrepa na imisijskem mestu (na sosednji parceli) je lahko do -5 dB.

Namestitev obloge iz absorpcijskega materiala na stene jaška ali kanala. Učinek je odvisen frekvenčne karakteristike hrupa in debeline absorpcijskega materiala. Za nizkofrekvenčne vire hrupa se priporoča debelina vsaj 100 mm .

Namestitev dušilcev/glušnikov zvoka v zračnih kanalih. Učinek je močno odvisen od frekvenčne karakteristike vira, dolžine dušilnika in debeline kulis v katere je vložen polnilo iz absorpcijskega materiala (npr. mineralne volne). Pri nizkofrekvenčnih virih je učinek ocenjen na -5 dB. Pogosto uporaba dušilnikov ni izvedljiva zaradi pomanjkanja prostora.

Absorpcijske lamele za zaščito pred vremenskimi vplivi. Učinek je odvisen od prekrivanja lamel, debeline lamel in absorpcijskega polnila ter frekvenčne karakteristike vira. Pri nizkofrekvenčnih virih je učinek ocenjen na 0 do -3 dB.

6.3. Zaključek

Najučinkovitejši protihrupni ukrep je izbira tihe toplotne črpalke zrak-voda glede na stanje tehnike, izbira primerne lokacije in uporaba obstoječe pozidave in naravnih zasipov za preprečevanje razširjanje hrupa v okolje. O izbiri toplotne črpalke zrak-voda in primerni lokaciji zunanje enote je potrebno razmišljati in ukrepe izvesti čim prej in sicer že v fazi načrtovanja. Zunanjo enoto je potrebno namestiti na lokacijo, ki se nahaja čim dlje od sosednjih nepremičnin. Lokacija mora biti izbrana tako, da je sosednja nepremičnina zaščitena pred hrupom, ki se širi od toplotne črpalke z obstoječimi objekti kot so garaže, nasipi in objekt lastnika toplotne črpalke. Še posebej je potrebno biti pozoren, če se črpalke namešča v drugače tiho okolje ali pa so razdalje med sosednjimi stanovanjskimi objekti kratke.

Pri namestitvi sistema s toplotno črpalke zrak-voda naj se upoštevajo protihrupni ukrepi, ki so namenjeni izolaciji pred hrupom obratovalne opreme, kot so predvideni v Tehnični smernici TSG – 1 – 005: 2012 Zaščita pred hrupom v stavbah.

Za zmanjšanje hrupa na mestu imisije so na voljo še dodatni sekundarni protihrupni ukrepi, ki vključujejo ukrepe na ohišju črpalke, namestitev protihrupnih okrovov in protihrupnih pregrad ter ukrepi za preprečevanje širjenja hrupa iz prezračevalnih kanalov. Za izvedbo teh ukrepov je potreben dodaten prostor, kar je tudi potrebno predvideti v fazi načrtovanja. Izbira in učinek teh ukrepov je odvisen od vpliva posameznih virov v sklopu sistema s toplotno črpalke in prenosnih poti. V

splošnem so ukrepi manj učinkoviti v primeru prisotnosti nizkofrekvenčnih komponent hrupa. Izbor ustreznih ukrepov lahko določi ustrezno usposobljen vzdrževalec v dogovoru s proizvajalcem.

Viri:

- [1] Tehnična smernica TSG-1-005:2012 Zaščita pred hrupom v stavbah.
https://www.gov.si/assets/ministrstva/MNVP/Dokumenti/Graditev/tsg_005_zascita_pred_hrupom.pdf
- [2] Cercle Bruit. <https://www.cerclebruit.ch/?inc=enforcement&e=6/621.html>
- [3] Final Report – Part 13 Annex 51: Acoustic Signatures of Heat Pumps, 7.1: Educational material, guides & guidelines. <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/final-report-part-13-annex-51-acoustic-signatures-of-heat-pumps/>
- [4] Informativni zvezek o varovanju okolja pred hrupom zaradi toplotnih črpalk na zrak (“Informationsblatt zum lärmschutz im nachbarschaftsbereich von luftwärmepumpen , Forum Schall, 2013”)
- [5] BWP. Leitfaden Schall.
(https://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bcpagflip/BWP_LF_Schall_final.pdf)

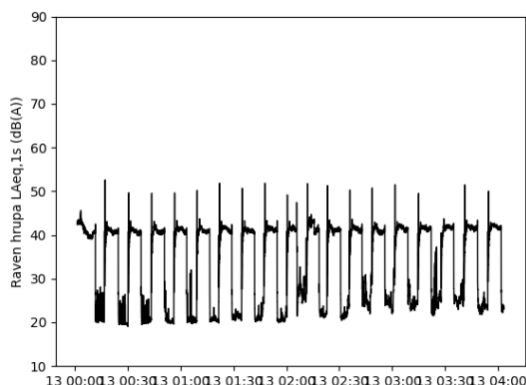
Dodatek A: primer meritev hrupa toplotne črpalke 1

Toplotna črpalka se nahaja na parcelni meji v izredno tihem okolju. Parcele na katerih se nahajajo stanovanjski objekti so zaradi terena izvedene v obliki teras. Toplotna črpalka je postavljena ob severovzhodno fasado (brez oken) hiše, ki se z njo ogreva. Črpalka je usmerjena proti jugo zahodni fasadi najbolj izpostavljenega sosednjega stanovanjskega objekta. Na tej fasadi se nahajajo tudi bivalni in spalni prostori z okni in vrati na razdalji cca 7 m do 14 m od črpalke. Črpalka se nahaja v neposredni bližini zunanje terase s stoli in mizo.

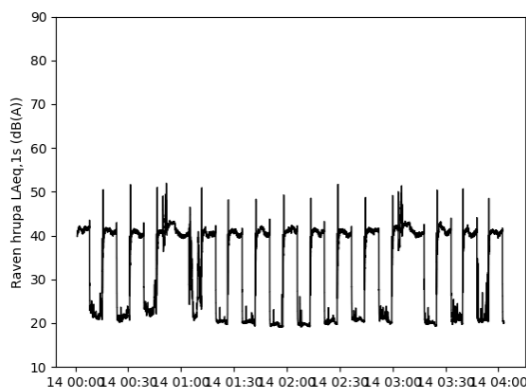
A.1. Meritve hrupa na parcelni meji

Meritve hrupa so bile izvedene na parcelni meji nad toplotno črpalko v smeri izpostavljenega stanovanjskega objekta na razdalji okoli 5 m od središča črpalke. Meritve so se izvajale med 12. 11. 2024 in 14. 11. 2024. Dodatne meritve so bile opravljene v dneh med 19. 2. 2025 in 21. 2. 2025.

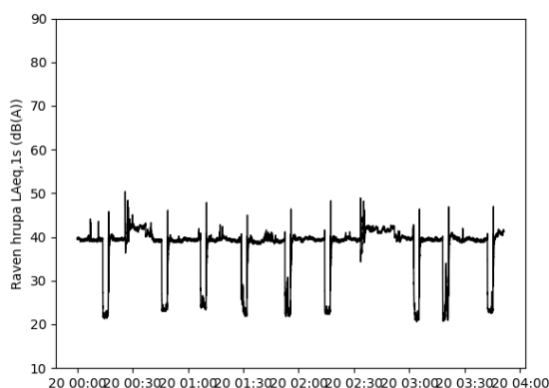
Časovni poteki ravni hrupa na parcelni meji v dneh 13. 11. 2024, 14. 11. 2024 in 20. 2. 2025 v nočnem času med 00:00 in 04:00 uro so prikazani na slikah A.1, A.2 in sliki A.3. Temperatura zunanje zraka v nočnem obdobju med 00:00 in 04:00 se je dne 13. 11. 2024 gibala med 2 °C ter 2.3 °C, relativna vlažnost je bila med 78 % in 80 %. Dne 14. 11. 2024 se je temperatura gibala med 0.3 °C do 0.5 °C, vlaga pa med 89 % in 91 %. Dne 20. 2. 2025 se je temperatura gibala med -6.1 °C in -9.8 °C, vlaga med 73 % in 87 %. Hitrost vetra je bila v nočnem času nižja od 1 m/s. Toplotna črpalka je v vseh dneh obratovala ves čas. Obratovanje črpalke je bilo intermitentno in ciklično, pri čemer je črpalka obratovala v načinu ON/OFF. 13. 11. 2024 in 14. 11. 2024 je črpalka obratovala v načinu ON 60 % časa. Dne 20. 2. 2025 pa je črpalka v načinu ON obratovala več kot 90 % časa. Slednje kaže na to, da je pri uporabi časovne korekcije, ker vir ne obratuje stalno, potrebno biti previden, saj je delovanje črpalke odvisno od načina uporabe in zunanjih razmer.



Slika A.1: Časovni potek A vrednotene ravni hrupa $L_{Aeq,1s}$ na parcelni meji dne 13. 11. 2024 v nočnem času med 00:00 in 04:00 uro.



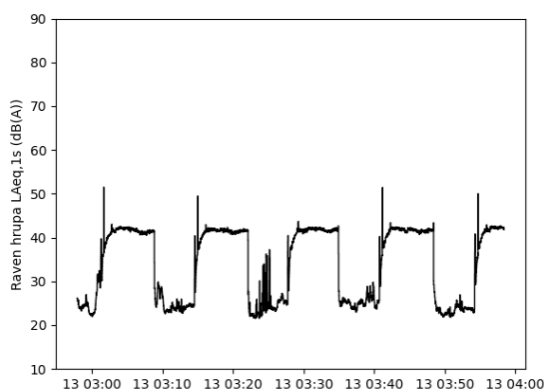
Slika A.2: Časovni potek A vrednotene ravni hrupa $L_{Aeq,1s}$ na parcelni meji dne 14. 11. 2024 v nočnem času med 00:00 in 04:00 uro.



Slika A.3: Časovni potek A vrednotene ravni hrupa $L_{Aeq,1s}$ na parcelni meji dne 20. 2. 2025 v nočnem času med 00:00 in 04:00 uro.

Delovanje črpalke je na merilnem mestu jasno zaznavno in slišno. V času delovanja toplotne črpalke se lahko zaznajo poudarjeni toni, pojavljajo se tudi slišni impulzi ob zagonu in izklopu črpalke. Hrup in akustične lastnosti (poudarjen ton, intermitentnost, impulzi) so zaznavni in slišni tudi pred oknom spalnice sosednjega objekta (na razdalji okoli 14 m od črpalke). Intermitentnost črpalke in pojav nizkofrekvenčnih tonov je zaznavno tudi v spalnici sosednjega objekta pri zaprtem oknu. Pri priprtem oknu so zaznavni tudi impulzi. Dinamika tonov in frekvenčna vsebina hrupa v notranjosti spalnice je v korelaciji z zunanjim hrupom. Sprememba v ravneh hrupa, ko se črpalka vključi in izključi se lahko zazna v okolju in tudi znotraj najbolj izpostavljenega stanovanjskega objekta.

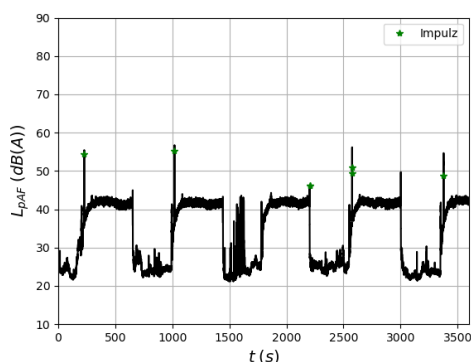
Za potrebe ocenjevanja je bil izbran signal izmerjen 13. 11. 2024 med 03:00 in 04:00 uro. Časovni potek hrupa toplotne črpalke v tem času je prikazan na sliki A.4.



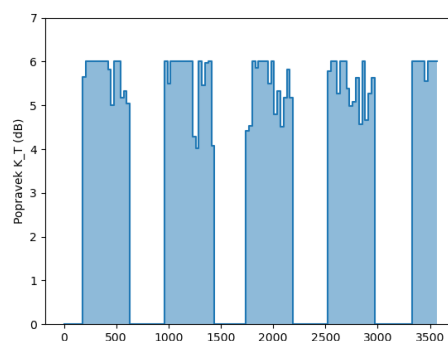
Slika A.4: Časovni potek A vrednotene ravni hrupa $L_{Aeq,1s}$ na parcelni meji dne 13. 11. 2024 v nočnem času med 03:00 in 04:00 uro.

Prisotnost slišnih impulzov je bila preverjena z objektivno metodo po ISO/PAS 1996-3:2022. Impulzi so bili identificirani kot nenadni porasti ravni zvočnega tlaka ob vklopu in izklopu črpalke, kot je to razvidno na sliki A.5.

Prisotnost poudarjenih tonov je bila preverjena z referenčno metodo po SIST ISO 1996-2:2007, priloga C. Na sliki A.6 je prikazana dinamika pojavnosti poudarjenih tonov dne 13. 11. 2024 med 03:00 in 04:00 uro, ki je korelirana s časovnim potekom hrupa toplotne črpalke prikazanim na sliki A.4. In sicer se poudarjeni toni pojavljajo v času, ko je črpalka v stanju ON. Ko je črpalka v stanju OFF, poudarjeni toni izginejo. Poudarjeni toni se pojavljajo v nizkofrekvenčnem območju pod 500 Hz, pa tudi v visokofrekvenčnem območju nad 6000 Hz.



Slika A.5: identifikacija impulzov na podlagi A vrednotenih ravni hrupa s časovno konstanto 10 ms kot jo predvideva ISO/PAS 1996-3:2022. Impulzi ob vklopu in izklopu so vidni kot nenaden porast ravni zvočnega tlaka (konice hrupa). Prikazan je 3600 sekund (1 uro) dolg odseka posnet dne 13. 11. 2024 med 03:00 in 04:00 uro.



Slika A.6: identifikacija in izračun popravkov zaradi poudarjenih tonov po referenčni metodi na podlagi ozkopasovne frekvenčne analize (SIST ISO 1996-2:2007, priloga C). Poudarjeni toni se pojavljajo v času obratovanja črpalke. Popravek večinoma znaša 6 dB. Prikazan je 3600 sekund (1 uro) dolg odseka posnet dne 13. 11. 2024 med 03:00 in 04:00 uro.

Rezultati ocenjevanja so prikazani v tabeli A.1, kjer je imisijska raven hrupa v nočnem času ocenjena na podlagi izmerjenih ravni hrupa L_{Aeq} in popravkov zaradi poudarjenih tonov (K_T), izrazitih impulzov (K_i) in intermitence (K).

Tabela A.1: določanje imisijske ravni hrupa na podlagi meritev z upoštevanjem popravkov.

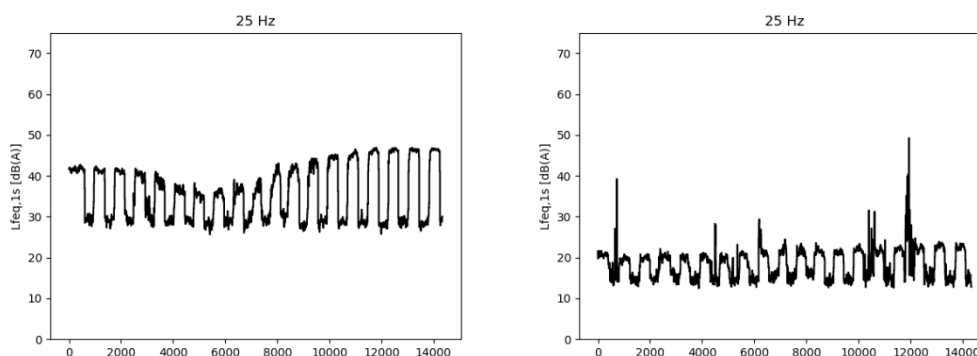
Obdobje dneva:		Noč	
Referenčni časovni interval	$T_r = 60 \text{ min}$	3600 s	
Čas merjenja	T_m	3600 s	
Čas, ko je vir obratoval (vir on)	T_{ON}	2160 s (13. 11. 2024) 3240 s (20. 2. 2025)	13. 11. 2024 in 14. 11. 2024 je črpalka obratovala v načinu ON 60 % časa. Dne 20. 2. 2025 pa je črpalka v načinu ON obratovala več kot 90 % časa.
Raven L_{Aeq} , ko vir obratuje.	$L_{Aeq,T_{ON}}$	41.5 dB(A)	
Raven L_{Ceq} , ko vir obratuje.	$L_{Ceq,T_{ON}}$	54.7 dB(C)	Razlika med C in A vrednoteno ekvivalentno raven hrupa je večja od 10 dB, kar lahko nakazuje na prisotnost nizkofrekvenčnega hrupa.
Čas, ko vir ni obratoval (vir OFF)	T_{res}	1440 s (13. 11. 2024) 360 s (20. 2. 2025)	
Raven hrupa, ko vir ni obratoval	$L_{Aeq,T_{res}}$	23.7 dB(A)	Raven rezidualnega hrupa je bila določena v času prekinitev.
Raven hrupa ozadja	LAF,95%	22.6 dB(A)	Raven hrupa ozadja je izredno nizka. Stanovanjski objekt se nahaja v tihem in mirnem območju.
Časovna korekcija, ker vir ne obratuje stalno:	$10 \cdot \log(T_{ON}/T_r)$	/	13. 11. 2024 in 14. 11. 2024 je črpalka obratovala v načinu ON 60 % časa. V tem primeru bi korekcija znašala -2.2 dB. Dne 20. 2. 2025 pa je črpalka v načinu ON obratovala več kot 90 % časa. V tem primeru bi korekcija znašala -0.5 dB. Časovna korekcija ni bila upoštevana, saj je delovanje črpalke odvisno od zunanjih razmer in porabnika.
Specifična raven zaradi obratovanja vira:	$L_{Aeq,T_r} = L_{Aeq,T_{noč}}$	41.5 dB(A)	$= 10 \log 10(10^{0.1 \cdot 41.5} - 10^{0.1 \cdot 23.7}) \text{ dB(A)} = 41.5 \text{ dB(A)}$
Popravek zaradi poudarjenih tonov	K_T	+ 6 dB	Določeno z FFT analizo in referenčno metodo
Popravek zaradi intermitence	K	+ 3 dB	Hrup toplotne črpalke je jasno zaznaven. Zaznavna je sprememba hrupa med vklopom in izklopom. Razlika v A- vrednotenih ravneh hrupa med obratovanjem črpalke in ob izklopu je skoraj 20 dB(A).
Popravek zaradi izrazitih impulzov	K_i	+ 4 dB	Impulzi se pojavljajo ob vklopu in izklopu.
Ocenjena imisijska raven hrupa	$L_r, \text{noč}$	54.5 dB(A)	$= 41.5 \text{ dBA} + 6 \text{ dBA} + 3 \text{ dBA} + 4 \text{ dBA} = 54.5 \text{ dBA}$

A.2. Meritve hrupa v notranjosti izpostavljenega objekta

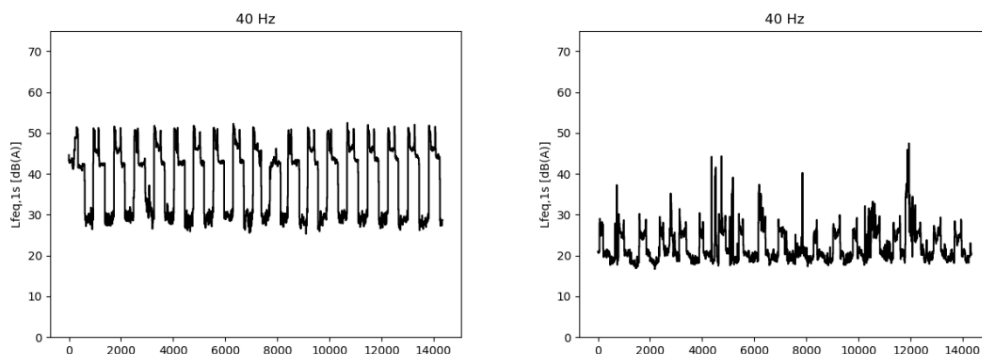
Meritve so bile izvedene tudi v notranjosti izpostavljenega objekta in sicer v spalnici in kopalnici. Meritve v spalnici, ki se nahaja v prvem nadstropju stanovanjskega objekta so bile izvedene v dneh 12. 11. 2024 do 14. 11. 2024. Okna oziroma balkonska vrata spalnice so usmerjena proti parcelni meji, kjer se nahaja toplotna črpalka. Z balkona spalnice je razvidna lokacija, kjer se nahaja toplotna črpalka. Meritve v kopalnici so bile izvedene v obdobju 19. 2. 2025 do 21. 2. 2025. Okno kopalnice je majhno in nima pogleda na del parcele, kjer se nahaja toplotna črpalka.

Meritve v spalnici

Zvok toplotne črpalke se zazna v notranjosti spalnice predvsem v nizkofrekvenčnem območju. Na slikah A.7 in A.8 sta prikazana poteka ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 25 Hz in 40 Hz v nočnem času dne 13. 11. 2024 med 00:00 in 04:00 uro na parcelni meji in v spalnici sosednjega stanovanjskega objekta pri zaprtih oknih. V obeh primerih vidimo, da se nizkofrekvenčne komponente hrupa, ki se pojavijo v času obratovanja toplotne črpalke zaznajo v notranjosti sosednjega objekta.

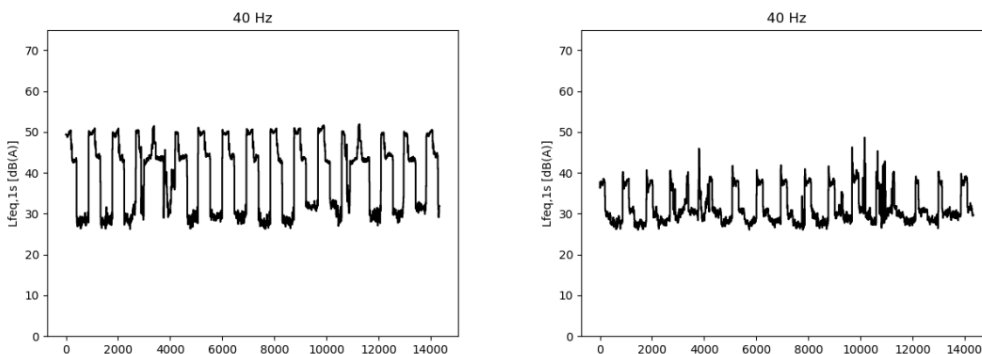


Slika A.7: ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 25 Hz na parcelni meji (levo) in v spalnici sosednjega stanovanjskega objekta pri zaprtih oknih (desno). Prikazana sta 14400 s dolga odseka izmerjena dne 13. 11. 2024 med 00:00 in 04:00 uro.

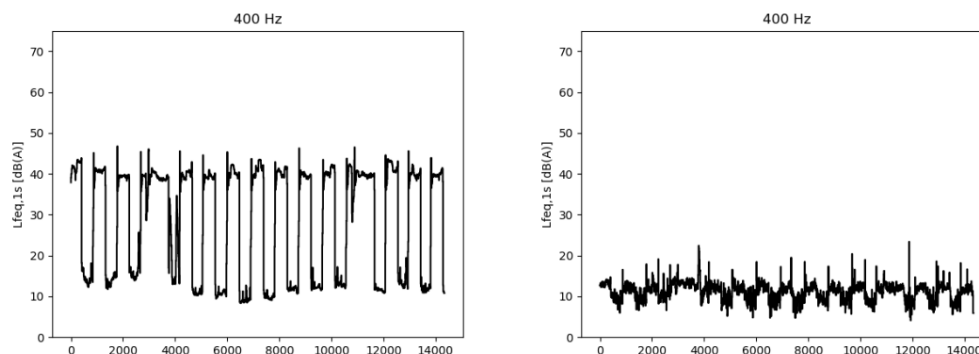


Slika A.8: ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 40 Hz na parcelni meji (levo) in v spalnici sosednjega stanovanjskega objekta pri zaprtih oknih (desno). Prikazana sta 14400 s dolga odseka izmerjena dne 13. 11. 2024 med 00:00 in 04:00 uro.

Na sliki A.9 je prikazan potek ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 40 Hz na parcelni meji in v spalnici sosednjega stanovanjskega objekta pri priprtih oknih ('na kip'). Na sliki A.10 je prikazan potek ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 400 Hz na parcelni meji in v spalnici sosednjega stanovanjskega objekta pri priprtih oknih ('na kip'). Meritve so bile opravljene v nočnem času dne 14. 11. 2024 med 00:00 in 04:00 uro. Meritve kažejo, da se pri priprtih oknih hrup v notranjost objekta poveča. Poleg nizkofrekvenčnega hrupa se zaznajo tudi višje frekvenčne komponente hrupa.



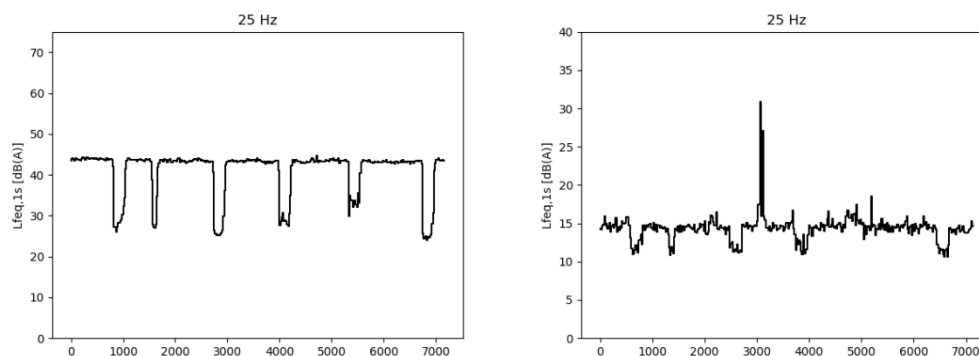
Slika A.9: ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 40 Hz na parcelni meji (levo) in v spalnici sosednjega stanovanjskega objekta pri priprtih oknih ('na kip') (desno). Prikazana sta 14400 s dolga odseka izmerjena dne 14. 11. 2024 med 00:00 in 04:00 uro.



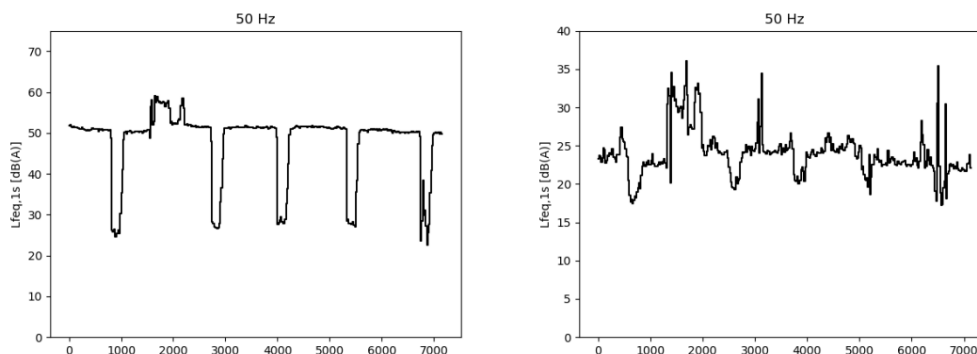
Slika A.10: ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 400 Hz na parcelni meji (levo) in v spalnici sosednjega stanovanjskega objekta pri priprtih oknih ('na kip') (desno). Prikazana sta 14400 s dolga odseka izmerjena dne 14. 11. 2024 med 00:00 in 04:00 uro.

Meritve v kopalnici

Hrup v okolju, ki se pojavi v času obratovanja toplotne črpalke se lahko zazna tudi v notranjosti kopalnice predvsem v nizkofrekvenčnem območju. Na sliki A.11 je prikazan potek ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 25 Hz na parcelni meji in v kopalnici pri zaprtem oknu. Na sliki A.12 je prikazan potek ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 50 Hz na parcelni meji in v kopalnici pri zaprtem oknu. V obeh primerih sta časovna poteka ravni zvoka v bližini črpalke in v notranjosti objekta usklajena. Meritve kažejo na to, da se nizkofrekvenčne komponente zvoka zaradi obratovanja toplotne črpalke prenesejo v notranjost sosednjega objekta.



Slika A.11: ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 25 Hz na parcelni meji (levo) in v kopalnici v prvem nadstropju sosednjega stanovanjskega objekta (desno). Prikazana sta 7200 s dolga odseka izmerjena dne 20. 2. 2025 med 00:00 in 02:00 uro.

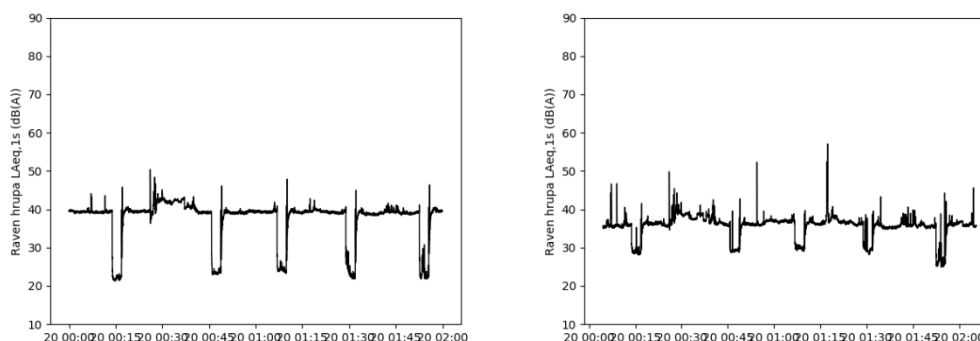


Slika A.12: ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 50 Hz na parcelni meji (levo) in v kopalnici v prvem nadstropju sosednjega stanovanjskega objekta (desno). Prikazana sta 7200 s dolga odseka izmerjena dne 20. 2. 2025 med 00:00 in 02:00 uro.

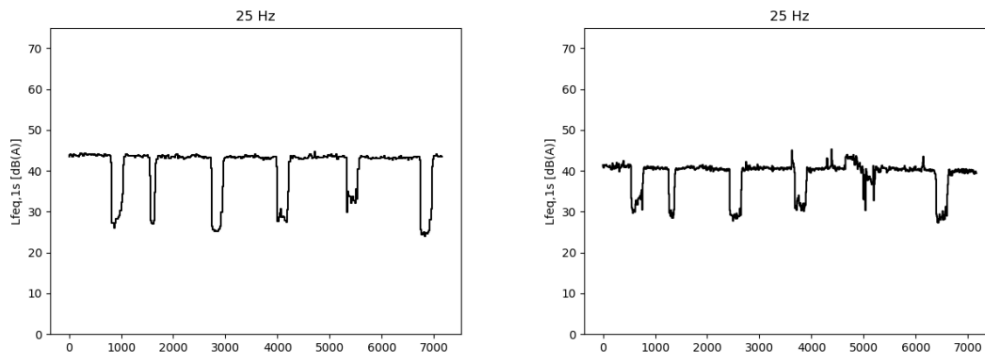
A.3. Meritve hrupa na fasadi izpostavljenega objekta

Zvok toplotne črpalke je zaznaven neposredno pred balkonskimi vrati spalnice sosednjega objekta. Pred oknom spalnice so zaznavni tudi poudarjeni toni in izraziti impulzi ob vklopu in izklopu črpalke. Hrup je intermitenten, jasno je zaznavna razlika v ravneh hrupa ko črpalka obratuje in ko ne obratuje.

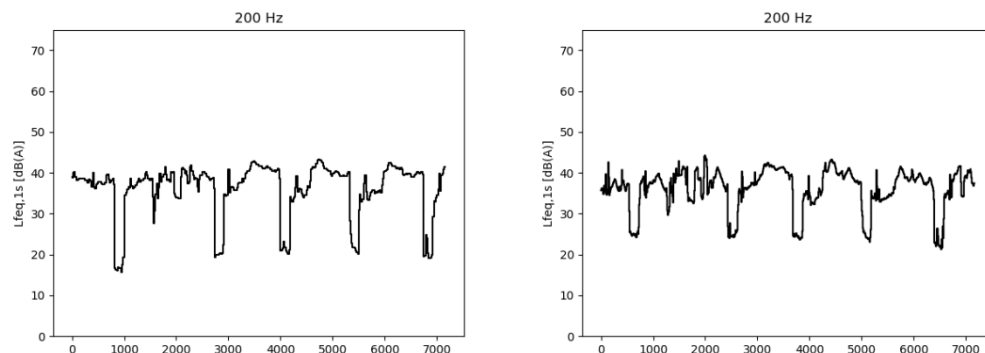
Na sliki A.13 je prikazan potek A vrednotene ravni zvočnega na parcelni meji in na balkonskih vratih spalnice sosednjega stanovanjskega objekta. Na sliki A.14 je prikazan potek ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 25 Hz na parcelni meji in na balkonskih vratih spalnice sosednjega stanovanjskega objekta. Na sliki A.15 je prikazan potek ravni zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 200 Hz na parcelni meji in na balkonskih vratih spalnice sosednjega stanovanjskega objekta. V obeh primerih sta časovna poteka ravni zvoka v bližini črpalke in na balkonskih vratih spalnice sosednjega stanovanjskega objekta korelirana. Nizkofrekvenčne komponente so na obeh mestih jasno zaznavane.



Slika A.13: A vrednotene ravni zvočnega tlaka na parcelni meji (levo) in na balkonskih vratih spalnice sosednjega stanovanjskega objekta (desno). Prikazana sta 4 ure dolga odseka izmerjena dne 20. 2. 2025 med 00:00 in 02:00 uro.



Slika A.14: raven zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 25 Hz na parcelni meji (levo) in na balkonskih vratih spalnice sosednjega stanovanjskega objekta (desno). Prikazana sta 7200 sekund (2 uri) dolga odseka izmerjena dne 20. 2. 2025 med 00:00 in 02:00 uro.



Slika A.15: raven zvočnega tlaka znotraj terčnega frekvenčnega pasu s srednjo frekvenco 200 Hz na parcelni meji (levo) in na balkonskih vratih spalnice sosednjega stanovanjskega objekta (desno). Prikazana sta 7200 sekund (2 uri) dolga odseka izmerjena dne 20. 2. 2025 med 00:00 in 02:00 uro.

A.4. Pomembnejše ugotovitve:

- Toplotna črpalka se nahaja na parcelni meji v izredno tihem okolju.
- Obratovanje črpalke je bilo intermitentno in ciklično, pri čemer je črpalka obratovala v načinu ON/OFF. Čas trajanja cikla ON je med 60 % in 90 % celotnega časa, kar kaže na to, da je pri uporabi popravka zaradi časovne korekcije, ker črpalka ne obratuje stalno potrebno biti previden.
- Delovanje črpalke je na parcelni meji jasno zaznavno in slišno. V času delovanja toplotne črpalke se lahko zaznajo poudarjeni toni. Pojavljajo se tudi slišni impulzi ob zagonu in izklopu črpalke. Razlika v ravneh hrupa v času vklopa in izklopa je jasno zaznavna.
- Ocenjena imisijska raven hrupa v nočnem času določena na podlagi izmerjenih ravni hrupa L_{Aeq} (41.5 dB(A)) in popravkov zaradi poudarjenih tonov (+6 dB), izrazitih impulzov (+4 dB) ter intermitence (+3 dB) na parcelni meji pred izpostavljeno fasado sosednjega stanovanjskega objekta je 55 dB(A).

- Razlika med ravno hrupa ozadja $L_{AF,95\%}$ in ocenjeno imisijsko ravno v nočnem času $L_{r,noč}$ je večja kot 30 dB(A).
- V času obratovanja toplotne črpalke se v notranjost sosednjega objekta zaznajo nizkofrekvenčne komponente hrupa katerih časovna dinamika je korelirana z dinamiko hrupa izmerjenega v neposredni bližini črpalke. Nizkofrekvenčne komponente hrupa so zaznavne tako pri zaprtih in priprtih oknih. Pri priprtih oknih se hrup v notranjost objekta poveča, poleg nizkofrekvenčnega hrupa pa se zaznajo tudi višje frekvenčne komponente hrupa, ki so prav tako korelirane z obratovanjem črpalke.
- Nizkofrekvenčni hrup je bil deloma zaznaven tudi v prostoru (kopalnici) katerega okno nima pogleda na parcelo, kjer se nahaja črpalka, zaradi česar obstaja možnost, da se del hrupa prenaša tudi preko konstrukcije ali povezav med objektoma.
- Pred oknom spalnice so zaznavni tudi poudarjeni toni in izraziti impulzi ob vklopu in izklopu črpalke. Jasno je zaznavna razlika v ravneh hrupa, ko črpalka obratuje in ko ne obratuje. Ravni hrup na fasadi najbolj izpostavljenega stanovanjskega objekta so bistveno povečane v času obratovanja črpalke.