



ZVD Zavod za varstvo pri delu d.d.

Center za fizikalne meritve
Laboratorij za fizikalne meritve

Št: **LFIZ-20130038 - JJ/M (revizija 2)**

Datum: 30.07.2013

ELABORAT VPLIVA HRUPA NA OKOLJE
OBNOVA KOGENERACIJSKEGA POSTROJENJA TOŠ ENERGETIKA LJUBLJANA IN OBNOVA SREDNJE
NAPETOSTNEGA DELA STIKALIŠČ (TP768 IN TP612) VKLJUČNO Z ENERGETSKIMI TRANSFORMATORJI

Naročnik:

IEM Inženiring in projektiranje d.o.o.

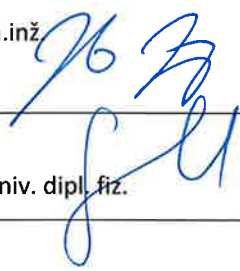
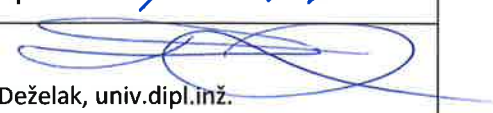
Lesno brdo 61

1360 VRHNIKA

Poslano:

1 x naročnik

1 x arhiv ZVD

Poročilo pripravil: Jernej Jenko, dipl.varn.inž. 	Karto hrupa pripravil: Jernej Jenko, dipl.varn.inž. Luka Čurovič, dipl.fiz.un. 
Poročilo odobril: dr. Gregor Omahen, univ. dipl. fiz. 	Pregledal: dr. Ferdinand Deželak, univ.dipl.inž. 

Dokument vsebuje 38 strani.

Poročilo je dovoljeno reproducirati samo v celoti za potrebe podjetja IEM d.o.o. in JP Energetika Ljubljana.

Kazalo:

1. NALOGA	3
2. OPIS VIROV HRUPA IN OKOLICE.....	3
2.1. VRSTA DEJAVNOSTI	3
2.2. OPIS VIRA HRUPA IN NAČINA OBRATOVANJA	3
2.2.1. Opis okolja prikaz obstoječega stanja	3
2.2.2. Glavni viri obstoječega hrupa v okolju in pomembnejše hrupne naprave oz. posamezni deli postrojenj v trenutnem obratovanju	10
3. UPOŠTEVANI ZAKONSKI AKTI IN NORMATIVI.....	12
4. NEGOTOVOST	13
5. KARTA HRUPA	18
RAZŠIRJANJE HRUPA IZ VIROV NA PROSTEM.....	18
RAZŠIRJANJE HRUPA IZ STAVB V OKOLJE	21
5.1 MODEL ŠIRJENJA HRUPA V OKOLJE OBSTOJEČE STANJE.....	25
5.2 MODEL ŠIRJENJA HRUPA V OKOLJE PO IZVEDBI OBNOVE.....	30
6. ZAKLJUČEK.....	37

1. NALOGA

Zaradi zamenjave in posodobitve opreme kogeneracije v postrojenju SPTE smo preverili, kako bodo novo vgrajeni sistemi vplivali na razširjanje hrupa v okolju. Pri tem smo upoštevali novo plinsko turbino, postavitev novega dimnika in obvod starega z vgrajenimi glušniki, nov kompresor, nov transformator in zamenjava dizel agregata. Poleg omenjenih del smo upoštevali tudi zamenjavo obstoječih transformatorjev in posodobitev stikališča, ki pa glede na trenutno stanje ne predstavljajo večje obremenitve.

Kot primerjavo glede na trenutno stanje smo upoštevali dosedanje modele širjenja hrupa in meritve hrupa v okolju, ki so bili izvedeni v letu 2009 in 2012. Ker za vse naprave iz prvega odstavka natančni podatki o emisijah hrupa niso razpoložljivi, smo upoštevali podatke iz literature oz. podatke za podobne naprave. Vedno pa smo upoštevali najvišje obremenitve. Tako z modelnimi izračuni podajajo rezultate, ki bodo v dejanskem obratovanju takšni ali boljši z upoštevanjem negotovosti uporabljenih modelov.

V nalogi tudi ni obravnavan nizkofrekvenčni hrup in infrazvok oz. frekvencami pod 100 Hz, ki nastajajo pri delovanju plinske turbine in dimovodnih naprav. Podatki o hrupnih obremenitvah pod tem frekvenčnim območjem so namreč zelo nezanesljivi in jih z modelnimi izračuni ni mogoče dovolj natančno opisati.

2. OPIS VIROV HRUPA IN OKOLICE

2.1. VRSTA DEJAVNOSTI

Energetika Ljubljana se ukvarja s proizvodnjo toplotne energije. Proizvodnja poteka kontinuirano tekom 24 ur, vendar pretežno v hladnejšem, oziroma zimskem obdobju. Pri izdelavi karte hrupa smo upoštevali maksimalno obratovanje vira hrupa, kot se to izvaja v hladnejšem obdobju.

2.2. OPIS VIRA HRUPA in NAČINA OBRATOVANJA

2.2.1. Opis okolja prikaz obstoječega stanja

Javno podjetje Energetika se nahaja v industrijsko obrtni coni Šiška in meji na severni meji na betonarno podjetja Sector trade d.o.o., na vzhodni meji na železniško progo Ljubljana -Kamnik oz. na žel. postajo Ljubljana -Brinje, na južni meji na podjetje Zavarovalnica Triglav d.d. in na zahodni na Verovškovo cesto.

Proizvodni in neproizvodni viri Energetike se nahajajo v industrijski coni Ljubljane. V neposredni bližini ni stanovanj ali drugih za hrup občutljivih objektov. Energetika meji na druga podjetja, kjer so prav tako predpisane omejitve s hrupom, čeprav v bistveno blažji obliki kot pa v primeru stanovanjskih in drugih, za hrup občutljivih stavb. Omejitve obstajajo tudi znotraj industrijske cone na mejah med posameznimi podjetji. Območje je razen s hrupnimi viri Energetike obremenjeno tudi s hrupom cestnega prometa po Verovškovi cesti in sosednjih proizvodnih podjetij, od katerih je najpomembnejša betonarna Sector Trade.

Prav tako je prisoten še hrup železniškega prometa na železniški progi Ljubljana – Kamnik.

Z dosedanjimi merjenji hrupa smo pridobili naslednje rezultate:

Kontrolne meritve, ki so bile izvedene v okviru monitoringa hrupa dne 10.03.2009 v času med 5:10 in 5:35 na dveh reprezentativnih izpostavljenih lokacijah na severnem delu Energetike in sicer pri istem obratovalnem režimu, kot v času meritev pred pristopom k protihrupni sanaciji, z izjemo plinske postaje.

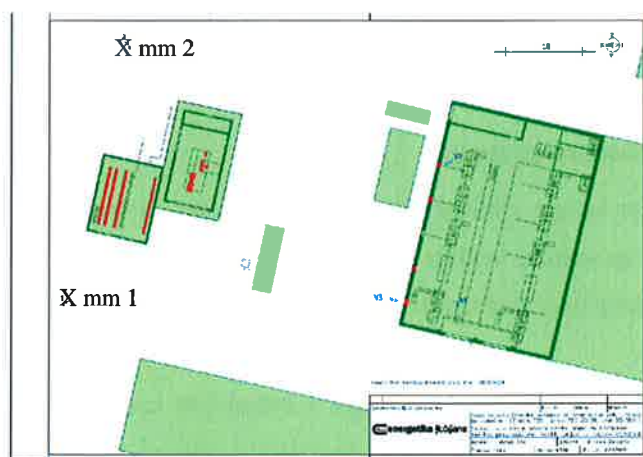
Tabela 1: Rezultati meritev hrupa dne 10.03.2009 od 5:10 do 5:35 po opravljeni sanaciji

Mesto merjenja	L_{eq}	L_1	L_{99}	K_1	K_2
MM1	59	61	59	0	0
MM2	59	60	59	0	0

Tabela 2: Izračunani kazalci hrupa po opravljeni sanaciji

Mesto merjenja	L_{dan}	$L_{večer}$	$L_{noč}$	L_{dvn}
MM1	59	59	59	65
MM2	59	59	59	65

Iz teh meritev je razvidno, da po opravljeni protihrupni sanaciji niso več prisotne prekoračitve s hrupom na dveh mejnih točkah ob severni strani MM1 in MM2, ki ležita ob meji z betonarno Sector Trade (glej načrt merilnih mest številka 1).



Slika 1: Načrt merilnih mest (merilni mesti točka 1 in 2)

Po opravljenih kontrolnih meritvah je bil redni monitoring hrupa okoli celotnega podjetja izveden v letu 2012. Pri tem monitoringu hrupa so bila upoštevana vsa merilna mesta, kjer je vpliv hrupa na okolico pomemben v smislu razširjaja hrupa na sosednje parcele okoli obravnavanega objekta. Merilna mesta smo prikazali na višinskemu posnetku območja JP Energetika, ki smo ga pridobili preko www.arso.si.



Slika 2 : Skica merilnih mest v letu 2012; vir: Atlas okolja – MOP – ARSO (GURS)

Analize meritev pri polnem obratovanju objekta so za posamezna časovna obdobja (dan, večer in noč) dale naslednje rezultate (tabela 3, 4 in 5):

Tabela 3: Rezultati meritev in analiz hrupa kot posledica obratovanja hrupnih virov Energetike, razmere z dne 21.2.2012 v dopoldanskem času

Merilno mesto	Čas merjenja	L_{eq}	L_1	L_{99}	K_1	K_2
Točka 1						
1. meritev	6:00-18:00	62	63	61	0	0
2. meritev		62	62	61	0	0
3. meritev		62	62	61	0	0
Točka 2						
1. meritev	6:00-18:00	61	62	61	0	0
2. meritev		61	62	61	0	0
3. meritev		62	62	61	0	0
Točka 3						
1. meritev	6:00-18:00	57	58	57	0	0
2. meritev		58	58	57	0	0
3. meritev		58	59	57	0	0
Točka 4						
1. meritev	6:00-18:00	53	54	52	0	0
2. meritev		54	55	53	0	0
3. meritev		53	54	52	0	0
Točka 5						
1. meritev	6:00-18:00	55	57	54	0	0
2. meritev		54	56	54	0	0
3. meritev		54	56	53	0	0

Točka 6						
1. meritev	6:00-18:00	54	55	53	0	0
Točka 7						
1. meritev	6:00-18:00	50	51	49	0	0
2. meritev		50	50	49	0	0
3. meritev		50	51	50	0	0
Točka 8						
1. meritev	6:00-18:00	51	51	51	0	0
2. meritev		51	52	50	0	0
3. meritev		50	51	50	0	0
Točka 9						
1. meritev	6:00-18:00	50	51	49	0	0
2. meritev		51	52	50	0	0
3. meritev		50	51	49	0	0
Točka 10						
1. meritev	6:00-18:00	52	53	51	0	0
2. meritev		49	51	48	0	0
Točka 11						
1. meritev	6:00-18:00	53	54	52	0	0
2. meritev		52	52	51	0	0
3. meritev		51	53	50	0	0
Točka 12						
1. meritev	6:00-18:00	56	57	56	0	0
2. meritev		57	58	56	0	0
Točka 13						
1. meritev	6:00-18:00	61	61	60	0	0
2. meritev		61	61	60	0	0
3. meritev		61	61	60	0	0

Tabela 4: Večerni čas – povzeto po razmerah v dnevnem času z dne 21.2.2012

Merilno mesto	Čas merjenja	L_{eq}	L_1	L_{99}	K_1	K_2
Točka 1	/					
4. meritev		62	63	61	0	0
5. meritev		62	62	61	0	0
6. meritev		62	62	61	0	0
Točka 2	/					
4. meritev		61	62	61	0	0
5. meritev		61	62	61	0	0
6. meritev		62	62	61	0	0
Točka 3	/					
4. meritev		57	58	57	0	0
5. meritev		58	58	57	0	0
6. meritev		58	59	57	0	0

Točka 4						
4. meritev	/	53	54	52	0	0
5. meritev		54	55	53	0	0
6. meritev		53	54	52	0	0
Točka 5						
4. meritev	/	55	57	54	0	0
5. meritev		54	56	54	0	0
6. meritev		54	56	53	0	0
Točka 6						
2. meritev	/	54	55	53	0	0
Točka 7						
4. meritev	/	50	51	49	0	0
5. meritev		50	50	49	0	0
6. meritev		50	51	50	0	0
Točka 8						
4. meritev	/	51	51	51	0	0
5. meritev		51	52	50	0	0
6. meritev		50	51	50	0	0
Točka 9						
4. meritev	/	50	51	49	0	0
5. meritev		51	52	50	0	0
6. meritev		50	51	49	0	0
Točka 10						
3. meritev	/	52	53	51	0	0
4. meritev		49	51	48	0	0
Točka 11						
4. meritev	/	53	54	52	0	0
5. meritev		52	52	51	0	0
6. meritev		51	53	50	0	0
Točka 12						
3. meritev	/	56	57	56	0	0
4. meritev		57	58	56	0	0
Točka 13						
4. meritev	/	61	61	60	0	0
5. meritev		61	61	60	0	0
6. meritev		61	61	60	0	0

Tabela 5: Izmerjene ravni hrupa v nočnem času z dne 21.2.2012

Merilno mesto	Čas merjenja	L_{eq}	L_1	L_{99}	K_1	K_2
Točka 1						
1. meritev	22:00-6:00	55	57	54	0	0
2. meritev		55	56	54	0	0
3. meritev		55	56	54	0	0
Točka 2						
1. meritev	22:00-6:00	58	59	57	0	0
2. meritev		58	58	57	0	0
3. meritev		58	58	57	0	0
Točka 3						
1. meritev	22:00-6:00	55	55	54	0	0
2. meritev		55	55	54	0	0
3. meritev		55	56	54	0	0
Točka 4						
1. meritev	22:00-6:00	53	55	53	0	0
2. meritev		53	55	52	0	0
3. meritev		52	53	52	0	0
Točka 5						
1. meritev	22:00-6:00	51	52	50	0	0
2. meritev		52	53	52	0	0
3. meritev		51	52	51	0	0
Točka 6						
1. meritev	22:00-6:00	47	51	45	0	0
2. meritev		46	48	45	0	0
3. meritev		47	48	46	0	0
Točka 7						
1. meritev	22:00-6:00	46	48	45	0	0
2. meritev		44	45	43	0	0
3. meritev		44	45	43	0	0
Točka 8						
1. meritev	22:00-6:00	46	48	45	0	0
2. meritev		45	46	43	0	0
3. meritev		44	45	43	0	0
Točka 9						
1. meritev	22:00-6:00	46	47	45	0	0
2. meritev		46	47	45	0	0
3. meritev		46	47	45	0	0
Točka 10						
1. meritev	22:00-6:00	46	47	45	0	0
2. meritev		45	46	44	0	0
3. meritev		46	47	44	0	0
Točka 11						
1. meritev	22:00-6:00	54	54	53	0	0
2. meritev		50	52	48	0	0

Točka 12						
1. meritev	22:00-6:00	53	54	52	0	0
2. meritev		54	54	53	0	0
3. meritev		54	54	53	0	0
Točka 13						
1. meritev	22:00-6:00	57	58	57	0	0
2. meritev		57	58	57	0	0
3. meritev		58	58	57	0	0

Tabela 6: Povprečna letna obremenitev s hrupom v naravnem in življenjskem okolju z dne 21.2.2012

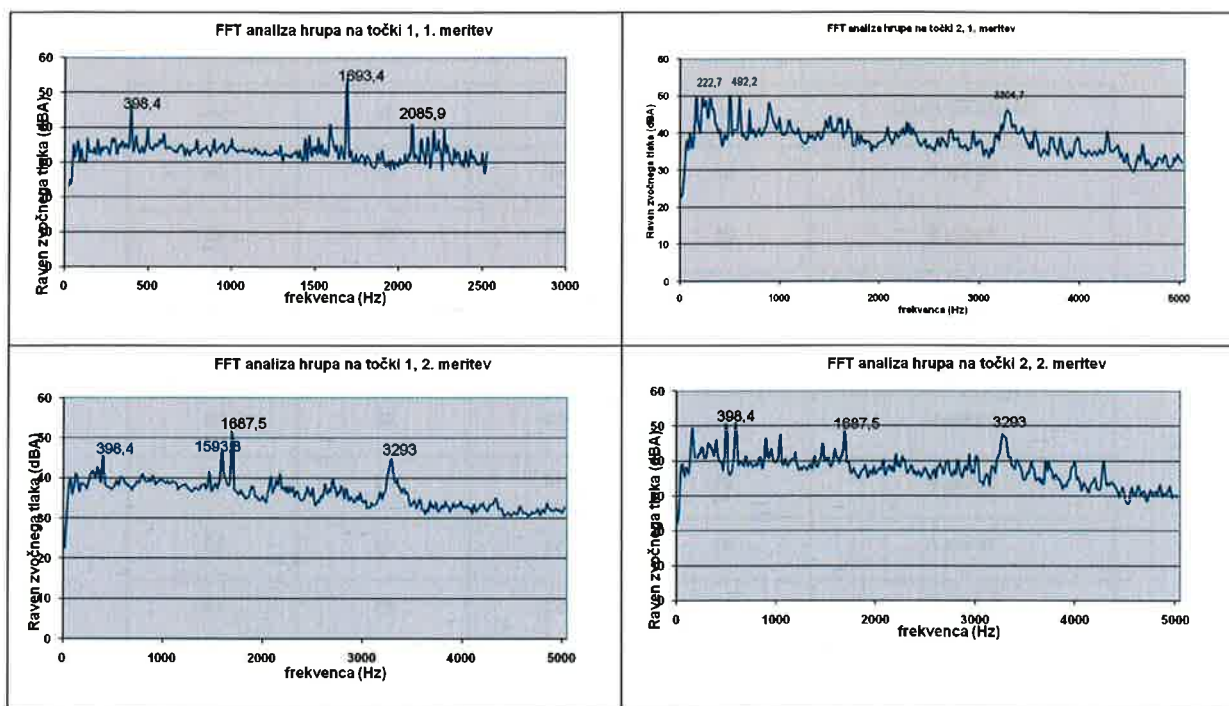
Mesto merjenja	L_d	L_v	L_n	L_{dvn}
Točka 1	62	62	55	64
Točka 2	61	61	58	65
Točka 3	58	58	55	62
Točka 4	53	53	53	59
Točka 5	54	54	51	58
Točka 6	54	54	47	56
Točka 7	50	50	45	53
Točka 8	51	51	45	54
Točka 9	50	50	46	54
Točka 10	51	51	46	54
Točka 11	52	52	52	58
Točka 12	57	57	54	61
Točka 13	61	61	57	65

Tabela 7: Pogoji okolja z dne 21.2.2012 v dopoldanskem času

Datum meritve:	21.2.2012 Dan (06.30 – 12.00)	21.2.2012 Noč (04.50 – 06.00)
Temperatura:	-1; 1 °C	-1;-2 °C
Hitrost vetra:	Brezveterje ; Spremenljivo 0,5 m/s	Brezveterje ; Spremenljivo 1,0 m/s
Dež/sneg:	pretežno oblačno	oblačno
Relativna vlažnost:	100 ; 65%	100; 100%
Zračni tlak:	1032 ; 1031 Pa	1032 ; 1032 Pa

Na osnovi teh meritev in določitve zvočnih moči posameznih virov hrupa, ki so bile delno izmerjene s pomočjo akustične kamere, delno pa z metodo določanja zvočnih moči virom hrupa z merjenjem zvočnega tlaka, smo izdelali tudi model širjenja hrupa v okolju, ki ga sedaj upoštevamo tudi pri primerjavah z novim predvidenim stanjem hrupa v okolju.

Pri meritvah smo sicer zabeležili tudi vpliv nizkofrekvenčnega hrupa (od 12 Hz naprej), ki je pri plinskih turbinah pomemben predvsem v območju do 150 Hz. Vpliv nizkih frekvenc na rezultat je sicer nekoliko zmanjšan zaradi vrednotenja hrupa s pomočjo frekvenčnih filtrov, ki simulirajo delovanje človeškega ušesa in je bistveno manj občutljivo pri nizkih frekvencah. Vendar ta del zvočnega spektra predvsem pri velikih in energijsko močnih virih hrupa lahko pomeni znatno motnjo za okolje, ki se pozna predvsem kot posledica tresenja posameznih delov objektov in tal ter nelagodnega občutja okoliških prebivalcev. Zato je smiselno slediti meritvam in analizam nizkofrekvenčnega hrupa tudi v bodoče.



Slika 2: FFT analiza hrupa na problematičnih mejnih točkah, iz česar je jasne vpliv nizkofrekvenčnega hrupa

2.2.2. Glavni viri obstoječega hrupa v okolju in pomembnejše hrupne naprave oz. posamezni deli postrojenja v trenutnem obratovanju

V okviru monitoringa hrupa, ki ga Energetika povzroča v okolju, je bilo leta 2006 ugotovljeno, da obstajajo prekomerne obremenitve okolja s hrupom na njeni severni strani. Te prekoračitve so dosegale 2 dBA, v spektrih hrupa Energetike pa so se pojavljali še nekateri poudarjeni toni, kar predstavlja penalno vrednost na izmerjeno raven hrupa. Glavni viri hrupa so bile črpalke v črpališču, plinska in kompresorska postaja ter občasno hladilni stolp. Za potrebe znižanja prekomernega hrupa je bil izdelan protihrupni elaborat (ZVD, LFIZ-20060168-FD) z naslednjimi priporočili:

- zamenjava vhodnih vrat in zatesnitev vseh odprtih na severni in zahodni fasadni steni črpališča
- zamenjava oziroma zatesnitev vhodnih vrat v plinsko reducirno postajo (zlasti spodnjega dela) ter akustična obdelava prezračevalnih odprtih na severni fasadni steni
- ureditev prezračevalne odprtine v kompresorski postaji na severni strani, oziroma namestitve ustreznega protihrupnega dušilnika

- montaža zvočno absorpcijskih materialov ob stenah in stropu črpališča, plinsko reducirne in kompresorske postaje
- za znižanje izpostavljenosti delavcev hrupu v črpališču je bila nadalje priporočena montaža nove zvočno izolacijske kabine. Povprečna zvočna izolirnost elementov kabine naj bi presegala 30 dB (Rw >30 dB).

Na posameznih enotah so bili realizirani protihrupni ukrepi za zmanjšanje emisij hrupa iz posameznih virov in sicer:

Črpališče ČP TOŠ

- stene črpališča niso bile akustično obdelane
- komandna kabina ni bila spremenjena
- izvedeni sta bili dve dodatni odprtini v zunanjem zidu črpališča za zagotovitev dostopa hladilnega zraka; ena na vzhodni strani črpališča druga na zahodni fasadi črpališča.
- odprtina na vzhodni strani črpališča je bila opremljena s kanalskim glušnikom
- odprtina na zahodni strani zgradbe črpališča je bila opremljena s ploščatim resonančno akustičnim absorberjem hrupa zaradi pomanjkanja prostora
- montirani so bili akustični absorpcijski elementi pod stropom črpališča
- vročevodni obtočni črpalki 1/5 in 2/5 sta bili opremljeni z akustičnimi okrovi
- prvotni štirje ventilatorji za zagotavljanje iztoka zraka iz črpališča so bili zamenjani s štirimi novimi močnejšimi ventilatorji. Na zunanji strani izpuha vsakega ventilatorja je bil vgrajen akustični kanalski glušnik

Plinska regulatorska postaja RV-19

- vgrajena so bila nova montažna vrata (2x) in nova vrata za vstop osebja
- na vse prezračevalne odprtine so bili vgrajeni akustični okrovi (20 kosov)
- ob stenah in stropu niso bili montirani zvočno absorpcijski materiali

Plinska kompresorska postaja NGC

- na odprtini za vstop hladilnega zraka na severni strani zgradbe kompresorske postaje so bili na zunanji in notranji strani vgrajeni akustično resonančni zasloni
- izstop hladilnega zraka ni bil spremenjen

Hladilni stolp klimatizacijske naprave

- hladilni stolp je bil izvzet iz obsega akustične obdelave. Redukcija hrupa hladilnega stolpa bo izvedena kasneje z ukrepi ki jih predlaga dobavitelj hladilnega stolpa

Po opravljeni sanaciji so bile opravljene kontrolne meritve hrupa s ciljem ugotovitve doseženega učinka. Vsi ti ukrepi so bili upoštevani v sklopu obstoječega stanja vira hrupa.

Čeprav so se nekateri viri hrupa, zlasti hladilnik olja turbine izkazali kot lokalno pomembni viri hrupa na okolje nimajo tako pomembnega vpliva, predvsem zaradi njihove lege.

3. UPOŠTEVANI ZAKONSKI AKTI IN NORMATIVI

Varstvo naravnega in bivalnega okolja pred hrupom ureja v Republiki Sloveniji več predpisov. V našem primeru je potrebno upoštevati predvsem naslednje:

- Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju, Uradni list RS, št. 121/04;
- Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, Uradni list RS, št. 105/2005, 34/2008, 109/2009 in 62/2010;
- Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu hrupa za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje, Uradni list RS, št. 105/2008;
- Za potrebe oziroma območje Mestne občine Ljubljana pa je potrebno upoštevati še Odlok o občinskem prostorskem načrtu Mestne občine Ljubljana, Uradni list RS 78/10.

Nekatera področja varovanja okolja pred hrupom niso regulirana z zgoraj navedenimi predpisi. To zlasti velja za problem določanja zvočnih moči, modeliranja razprostiranja hrupa na prostem, vpliv naravnih in umetnih ovir, protihrupnih pregrad, prometnega hrupa in podobno. V tem primeru so predvsem pomembni še naslednji predpisi, predvsem tuji:

- SIST ISO 1996 - 1 : Acoustics; description, measurement and assessment of environmental noise part 1: Basic quantities and procedures;
- SIST ISO 1996 - 2 : Acoustics; description, measurement and assessment of environmental noise part 2: Determination of environmental noise levels;
- SIST ISO 8297: Acoustics – determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment – Engineering method;
- SIST EN ISO 9613/2, Attenuation of sound during propagation outdoors, 1997;
- DIN 18005, Teil 1, Schallschutz im Stadtebau, 1987;
- VDI 2714; Schallausbreitung im Freien, 1988;
- VDI 2720 - Blatt 1; Schallschutz durch Abschirmung im Freien, 1991;
- VDI 2571 - Blatt 1; Schallabstrahlung von Industriebauten;
- SIST EN ISO 3746; Akustika - Ugotavljanje ravni zvočnih moči virov hrupa z merjenjem zvočnega tlaka - Informativna metoda z merilno ploskvijo, sklenjeno okrog vira hrupa nad odbojno ravnino - Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane.

4. NEGOTOVOST

Pri razširjanju hrupa iz industrijskih virov hrupa največkrat upoštevamo zahteve standarda SIST EN ISO 9613/2, Attenuation of sound during propagation outdoors in tako določimo imisijske ravni hrupa L na izpostavljenih lokacijah.

Za splošno funkcijsko odvisnost ravni hrupa $L=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ dobimo v primeru zanemarljivih korelacij med vhodnimi količinami kombinirano standardno negotovost te ravni s pomočjo enačbe

$$u_c^2(L) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u^2(x_i)$$

Spremenljivk x_i je na splošno veliko, vendar bomo obravnavali le tiste, ki najpomembneje vplivajo na negotovost pri določitvi imisijske ravni in s tem na negotovost. V sklopu te oziroma nadaljnjih potrebnih faz izdelave naloge se bomo omejili na pet ($N=5$) takšnih spremenljivk, oziroma njihovih vplivov, ki pri industrijskih hrupnih virih praviloma nastopajo in sicer:

x_1 - vpliv emisijske ravni;

x_2 - vpliv sferične divergence ;

x_3 - vpliv atmosferskega znižanja;

x_4 - vpliv ekscesnega znižanja;

x_5 - vpliv položaja sprejemnega mesta, oziroma izpostavljene lokacije.

Kombinirana negotovost, povezana z določitvijo indeksov imisijske ravni je odvisna od vseh vhodnih parametrov, njihove verjetnostne porazdelitve in koeficientov občutljivosti c_i .

ISO smernica GUM za določitev merilne negotovosti zahteva razširjeno negotovost, ki zajema interval $[L-U, L+U]$ in ki pokriva 95% vrednosti L in ki jih lahko pripišemo preiskovani imisijski ravni. V ta namen uporabimo faktor pokritja $U=k \cdot u_c$. V našem primeru predpostavimo Gaussovo porazdelitev izmerjenih vrednosti, tako da je $k \approx 2$, (natančneje 1.96).

Negotovosti pri modeliranju industrijskega hrupa

Pri računskem modeliranju hrupa prihaja do izraza več napak, ki jih v grobem lahko razdelimo na pet skupin:

- statistične napake, to so napake naključnega značaja, povezane z meritvami;
- prostorsko in časovno odvisne spremenljivke;
- sistematske napake;
- nepopolne definicije in nereprezentativnost vzorcev;
- negotovosti funkcijskih povezav z vhodnimi podatki.

Pri kartiranju hrupa se lahko sicer vpliv nekaterih sistematskih napak občutno zmanjša, na primer vpliv meteoroloških razmer. Nekatere druge vrednosti vhodnih spremenljivk pa so po drugi strani le deloma poznane, kot na primer absorpcija tal ter fasad in podobno.

Napake v zvezi z ocenami oziroma napovedmi hrupa industrijskih virov, ki jih je potrebno umeriti tudi z ustreznimi meritvami, imajo sicer več izvorov. Z merjenjem oz. dejanskimi meritvami virov hrupa lahko negotovost modela močno zmanjšamo.

Negotovost vhodnih podatkov

Negotovost vhodnih podatkov je odvisna od številnih faktorjev, kot so meritve, zbiranje in obdelave njihovih rezultatov, njihovo prilagajanje dejanskim razmeram. Za tovrstne analize so odgovorni upravljavci posameznih hrupnih virov, ki so predmet kartiranja. Tovrstne napake lahko tako razdelimo v dve skupini, na napake vezane na surove podatke in na napake pri njihovem urejanju oziroma obdelavi.

Merilna negotovost

Merilna negotovost zajema napake statističnega vzorčenja in terenskih meritev hrupa, napako instrumentarija in vse druge napake povezane z meritvami. Pri instrumentalni napaki gre za razliko med pravo vrednostjo ravni zvočnega tlaka in vrednostjo, ki jo kaže instrument.

Merilno negotovost (meritve za potrebe kalibracije) sestavljata dva tipa: tip A, ki je vrednoten s statističnimi metodami na seriji ponovitvenih meritev in tip B vrednoten z nestatističnimi metodami. Skupno negotovost dane meritve dobimo s kombinacijo kvadratov

$$U_{SKH} = \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + \dots}$$

Prenosna negotovost oziroma občutljivost

Negotovost v vhodnih podatkih vpliva na negotovost v rezultatih modelnega izračuna. Kvantitativni vpliv tovrstnega prenosa obravnava občutljivostna analiza.

Modelna negotovost

Različni modeli za izračun hrupa dajo na splošno različne rezultate, kljub enakim vhodnim podatkom. Lahko rečemo, da obstajata dve skupini negotovosti tovrstnega kartiranja:

1. kako natančno se uporabljeni model prilagaja realnim razmeram ter kakšne negotovosti in s kakšnimi približki obravnava;
2. na kakšen način se ti podatki prenašajo v trodimenzionalni model.

V tem primeru gre za negotovost v zvezi z razliko v dejanskih modeliranih ravneh napram napovedanim ravnam, ki bi jih dobili, v kolikor bi poznali in upoštevali vse vhodne podatke v idealnih razmerah.

Negotovost vrednotenja podatkov

Negotovost napovedanih rezultatov predstavlja merilo za interval, znotraj katerega leži resnična vrednost. Po drugi strani pa resnične vrednosti ne poznamo. Sprejemljivost tovrstne negotovosti v praksi potrjujemo s ponavljanjem istovrstnih meritev istega hrupnega vira, na istem kraju, vendar v različnih dnevih oziroma obdobjih.

Teoretični algoritmi, ki predstavljajo osnovo modela razširjanja hrupa in so zasnovani na klasični difuzijski teoriji, so večinoma usklajeni. Omeniti velja predvsem 4 tipe negotovosti, v glavnem tipa B, ki se v zvezi s tem pojavljajo:

- negotovost določitve zvočne moči;
- vpliv atmosferske nestabilnosti;
- negotovost algoritma računalniškega modela;
- uporaba točkovnega vira v primerjavi z distribuiranim modelom.

Emisijske ravni hrupa virov so bile v glavnem določene z meritvami. Negotovost emisijske ravni (zvočne moči) i tega vira je opisana s standardno deviacijo σ_i . Če z L_i označimo raven zvočnega tlaka (emisijsko raven hrupa), ki ga povzroča ta vir na preiskovanem mestu, ocenimo skupno negotovost od vseh virov hkrati s pomočjo enačbe:

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i 10^{0,1L_i}}}{\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i}}$$

Pogoj za veljavnost te enačbe, da morajo biti vsi hrupni viri med seboj nekoherentni, je v večini primerov praktično izpolnjen.

V našem primeru lahko računamo z naslednjimi izkustvenimi negotovostmi, kot so prikazane v spodnji tabeli 8. Za njihovo natančnejšo določitev je potrebno podrobnejše poznavanje vhodnih podatkov, njihova negotovost in analiza, kar bi naj bilo opravljeno v naslednjih fazah dela.

Tabela 8: Ocene za posamezne vrste negotovosti

Vrsta negotovosti	Vpliv		Velikost
	merjenje	Modeliranje	
Tip A ali tip B	X		do 2 dB
Raven zvočne moči vira		X	do 1 dB
Vpliv atmosfere	X	X	do 8 dB
Algoritem računaln. modela		X	2 do 5 dB
Točkovni oz. porazdelitv. vir		X	1 do 2 dB

Modelni izračun mora sloneti na podanih negotovostih za raven zvočne moči. Pri modeliranju je potrebno dati prednost distribuiranim virom hrupa, model pa jih nato ustrezno segmentira.

V naslednji tabeli 9 navajamo še nekatere tipične vrednosti za negotovost različnih parametrov, pomembnih za meritve hrupa in sicer enega za tip A in sedem za tip B. Gre za izkustvene podatke, ki bodo po potrebi podrobneje obdelani za konkreten primer v naslednjih fazah dela, skladno z dogovorom z naročnikom.

Tabela 9:

Element	Definicija	Najboljša pričakovana negotovost	Tipična negotovost
U_A	Standardna napaka ocene	0.5 dB	1.5 dB
U_{B1}	Kalibracija instrumenta	0.2 dB	0.3 dB
U_{B2}	Toleranca serije meritev z instrumentom	0.2 dB	0.4 dB
U_{B3}	Negotovost montaže mikrofona	0.3 dB	0.9 dB
U_{B4}	Negotovost oddaljenosti od akust. središča	0.1 dB	0.2 dB
U_{B5}	Negotovost zvočne impedance	0.1 dB	0.3 dB
U_{B6}	Negotovost ravni zvočne moči vira	0.4 dB	0.9 dB
U_{B7}	Vpliv preostalega hrupa	0.1 dB	0.8 dB
U_C	Kombinirana negotovost	0.8 dB	2.2 dB

Dejanska napaka modela pa je lahko celo manjša, kot jo napovedujejo v tej tabeli navedene vrednosti, oziroma vrednosti, ki bi jo dobili kot vektorsko vsoto posameznih komponent. Vzrok za to je dejstvo, da imajo negotovosti na splošno različne predznake in se med seboj izničujejo. Po drugi strani je pomembno tudi dejstvo, da imajo posamezne negotovosti majhen vpliv tudi na skupno, kombinirano negotovost, zaradi nizkih vrednosti nekaterih občutljivostnih koeficientov.

V kolikor se v projektu ne izvede (glede na naročilo) posebna ocena negotovosti poskušamo vse parametre umeriti na zgoraj zapisane meje. Pri napovedih pa ostaja neznanka negotovost vhodnih podatkov, kar lahko močno spremeni negotovost izračuna. Zaradi varnosti pri interpretiranju rezultatov pri modelih, vhodne

podatke vedno upoštevamo pri največjih obremenitvah. Tako lahko rezultate modela, ki jih dobimo interpretiramo kot ravni hrupa, ki so takšne kot jih prikazujemo, ali manjše.

Negotovosti v zvezi z uporabo programa LIMA

Pri modeliranju razširjanja hrupa v okolje in njegovem kartiranju smo uporabili računalniški paket LIMA. S tem v zvezi je potrebno poudariti, da pri modeliranju s pomočjo programa LIMA pridejo do izraza nekateri računski parametri, ki lahko pomembneje vplivajo na negotovost rezultatov. Ti so predvsem:

- a) velikost mrežne celice (grida) in višinske resolucije. EU priporoča mrežo 10 m x 10 m, groba višinska resolucija znaša 5 m. To zadošča za natančnost, zahtevano pri strateških kartah in podobnih nalogah, kjer se obdelujejo velike površine. Za natančnejše naloge je potrebna bolj fina resolucija, za najnatančnejše oziroma najzahtevnejše na primer 1 m x 1 m x 0.5 m, ki smo jo uporabili v primeru modela širjenja hrupa virov JP Energetike.
- b) računska oddaljenost (računski radij), ki ga definiramo kot maksimalno oddaljenost med hrupnim virom in imisijsko lokacijo, tako da je imisijska točka zajeta v modelu.
- c) Razdelitveni faktor vira (segmentiranje). Večje vire hrupa navidezno razdelimo na večje število manjših hrupnih virov, ki jih lahko na preiskovani oddaljenosti obravnavamo kot točkovne vire. Kot izhodišče za segmentiranje običajno določimo vrednost najmanjšega segmenta, ki mora biti prilagojen njegovi oddaljenosti do preiskovane imisijske lokacije.
- d) Računska površina (ta običajno sovпада s površino načrtovane tematske karte, ali pa površine, ki jo omejuje določena izofonska krivulja (na primer 45 dBA). Določitev računske površine je pomembna, saj porabljen računski čas narašča s kvadratom površine oziroma velikosti grida. Po drugi strani velja, da čimbolj fin je grid, boljše rezultate dobimo. Ko namreč gostota sprejemnih točk narašča, se izboljšuje natančnost kartiranja, vendar pa potreben računski čas pri tem eksponentno narašča. Seveda pa je potrebno upoštevati tudi, da večina imisijskih lokacij ne prispeva bistveno k optimizaciji kakovosti kartiranja glede na običajno zastavljene cilje.
- e) Grupiranje virov (na ta način je možno načrtovati optimizacijo računskega postopka)
- f) Sprejemljiva računska napaka je določena tako, da je vpliv vira še zajet v izračun. Skladno s tehničnimi navodili LIME je možno hrupne vire, katerih prispevek k imisijski variaciji je zanemarljiv napram sprejemljivi računski napaki, enostavno odstraniti iz izračuna. Takšne vire določimo s pomočjo predhodnih izračunov vseh virov, ki se nahajajo na oddaljenostih, ki so krajše kot računski radij. Pri tem pa je potrebna pazljivost, še zlasti v primeru prisotnosti visokih vrednosti absorpcij v bližini močnih hrupnih virov.

Glede na namen izračuna so potrebne različne stopnje natančnosti. Potrebna gostota točk, ki se uporablja kot podlaga za kartiranje ravni hrupa na območju, je odvisna od namena kartiranja. Sprememba ravni hrupa je izrazitejša v bližini virov in velikih ovir. Zato mora biti gostota točk na teh mestih večja. Na splošno razlika ravni zvočnega tlaka med sosednjimi točkami pri kartiranju ne sme biti večja od 5 dB za celotno izpostavljenost

hrupu. Pri zahtevnejših nalogah je treba stremiti k temu, da razlika med sosednjima točkama ne presega 2 dB, kar lahko do določene mere dosežemo z izbiro ustrežnejše strojne opreme ali smiselne gostote točk.

Dolgoročne napovedi hrupa, ki ga povzročajo posamezni industrijski hrupni viri so močno odvisne od vremenskih razmer. Te pa imajo na modelirane ravni temvečji vpliv, čimvečja je oddaljenost od teh hrupnih virov. Na najbližjih lokacijah, do cca 100 m je tovrstna negotovost v običajnih razmerah okrog ± 1 dBA. Na oddaljenostih 100 – 500 m od hrupnih virov običajno pričakujemo negotovost modeliranih ravni na ± 3 dBA. Na večjih oddaljenostih do približno 1 km so te negotovosti večje in dosežajo okrog ± 5 dBA. Vendar pa je na tako velikih oddaljenostih vpliv hrupnih virov že praktično zanemarljiv, zato tako široko območje v naših analizah ni obravnavano.

Iz vseh teoretičnih osnov, ki smo jih upoštevali lahko zaključimo, da negotovost modela ne bo prekoračevala 3 dB(A). Seveda pa bodo rezultati pokazali največjo obremenitev saj so vsi viri v projektu upoštevani v svoji največji moči, glede na podatke, ki so nam bili na razpolago.

5. KARTA HRUPA

Karta hrupa za obstoječe stanje in za stanje po izvedeni spremembi vira hrupa je izdelana na osnovi modela širjenja hrupa v okolje po zahtevah standarda za razširjenja hrupa SIST ISO 9613-2. Model je izdelan s pomočjo računalniškega programa Lima ver. 8.0.

Pri modelu širjenja hrupa želimo na osnovi znanih tehničnih ali akustičnih podatkov o hrupu posameznega vira izračunati kako se širi hrup posameznega vira in skupine virov hrupa na okolje. Ker so napake pri določanju natančnih lokacij virov hrupa, usmerjenosti virov in pogojev na poti širjenja hrupa navadno slabo definirani saj podatki pogosto niso znani. Poskušamo s pomočjo dodatnih meritev kalibrirati model, tako, da so rezultati obeh metod čim bolj usklajeni.

Razširjanje hrupa iz virov na prostem

Dnevna, večerna in nočna raven hrupa na posamezni lokaciji sta odvisni od izmerjenih ekvivalentnih ravni, tonskih in impulznih korekcij in časa trajanja hrupa.

Za hrupni vir z emisijsko ravno, oziroma zvočno močjo L_W , dobimo imisijsko raven zvočnega tlaka L_p po enačbi:

$$L_p = L_W + D_{cor} - A \quad [1]$$

pri čemer je D_{cor} korekcija zaradi usmerjenosti, na katero nekoliko vpliva tudi odboj od tal oziroma togih površin. Pomembna je sicer tudi usmerjenost hrupnih virov, ki največji del zvočne energije sevajo v določeni smeri. Za plinske naprave in kompresor nameščene na tleh, oziroma objekte v katerih so zaprti, prevzamemo za

korekcijo usmerjenosti 3 dB, ker se hrup večinoma širi v polprostor nad pretežno ravno in odbojno površino, za hladilni stolp pa je, D_{cor} med 0 in 3 dB, saj se hrup pretežno razširja v malo manj kot celoten prostor 4π .

Raven zvočnega tlaka na prostem z oddaljenostjo pada. To upadanje je posledica delovanja več mehanizmov, v prvi vrsti geometrične divergence, nadalje pa prispevajo še absorpcija zvoka v tleh in v atmosferi, kakor tudi drugi atmosferski pojavi (veter, temperatura in temperaturne razlike, relativna vlažnost zraka, v manjši meri tudi zračni tlak in atmosferska turbulenca). A predstavlja znižanje ravni hrupa, do katere pride pri razširjanju hrupa do objektov, občutljivih za hrup. A lahko zapišemo kot vsoto naslednjih členov:

$$A = A_{diver} + A_{atm} + A_{tla} + A_{zasl} + A_{rastl} + A_{pozid} \quad [2]$$

A_{diver} predstavlja znižanje zaradi geometrične divergence in jo lahko za polkrogelno razširjanje nad refleksijsko površino v prostem zvočnem polju zapišemo v obliki enačbe:

$$A_{diver} = (20 \log \frac{d}{d_0}) + 11 \quad [3a]$$

za krogelno razširjanje pa

$$A_{diver} = (20 \log \frac{d}{d_0}) + 8 \quad [3b]$$

kjer je d oddaljenost med hrupnim virom in objektom, občutljivim za hrup, d_0 pa referenčna oddaljenost enaka 1m.

Atmosferska absorpcija

Znižanje ravni hrupa v zraku pri razširjanju skozi atmosfero A_{atm} je odvisno od temperature in relativne vlažnosti zraka in ga ocenimo s pomočjo enačbe:

$$A_{atm} = \frac{\alpha d}{1000} \quad [4]$$

kjer je α atmosferski absorpcijski koeficient v dB/km, d pa razdalja med virom hrupa in mestom, občutljivim za hrup v m, ki ga obravnavamo.

Atmosferski absorpcijski koeficient po oktavah (v dB/km) pri temperaturi T in relativni vlažnosti zraka je prikazan v tabeli 18.

Tabela 10: Atmosferski absorpcijski koeficient po oktavah (v dB/km) pri temperaturi T in relativni vlažnosti zraka

T (°C)	Rel. vlaga (%)	Oktavni pas (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0.1	0.4	1.0	1.9	3.7	9.7	32.8	117
20	70	0.1	0.3	1.1	2.8	5.0	9.0	22.9	76.6
30	70	0.1	0.3	1.0	3.1	7.4	12.7	23.1	59.3
15	20	0.3	0.6	1.2	2.7	8.2	28.2	88.8	202
15	50	0.1	0.5	1.2	2.2	4.2	10.8	36.2	129
15	80	0.1	0.3	1.1	2.4	4.1	8.3	23.7	82.8

Glede na kratke oddaljenosti do objektov občutljivih za hrup, s katerimi imamo v našem primeru opravka, reda velikosti nekaj deset metrov vidimo, da atmosferska absorpcija, kljub prevladujočim visokim frekvencam v spektrih hrupa večinoma nima pomembnejšega vpliva.

Dušenje hrupa v tleh in zaradi meteoroloških pogojev

Za A - vrednotene ravni širokopasovnega hrupa lahko uporabimo izsledke iz standarda SIST EN ISO 9613 za talno in meteorološko korekcijo. A_{tla} predstavlja korekcijo ravni hrupa zaradi dušenja hrupa vZsled absorpcije v tleh in je odvisna od povprečne višine h_m . h_m se določi kot povprečna razdalja med tlemi in premico, ki povezuje kraj vira hrupa s krajem hrupa.

$$A_{tla} = 4.8 - \left(\left(17 + \frac{300}{d} \right) \frac{2hm}{d} \right) \quad [5]$$

Iz tega je razvidno, da je pri večjih vrednostih h_m imisijska raven hrupa višja. Zato so objekti pri isti oddaljenosti od nekega vira na večji višini lahko z njegovim hrupom bolj obremenjeni, kot tisti na majhnih višinah. h_m je povezan s srednjo višino veznice med virom in krajem hrupa nad terenom in je sorazmeren površini med to veznico in krivuljo prečnega profila terena pod njo ter obratno sorazmeren dolžini te veznice.

Zadnji trije členi v enačbi za upadanje hrupa predstavljajo korekcijo znižanja zaradi zaslanjanja, vpliva rastlinskih pasov in pozidave.

Poraščenost z drevjem

Drevje in rastlinski pasovi le v manjši meri zadržujejo razširjanje hrupa. Uspešno je le v primeru zelo debelih rastlinskih pasov z globino, ki presega nekaj deset metrov. Po VDI 2714 lahko takšno zmanjšanje ocenimo v odvisnosti od debeline rastlinskega pasu s in frekvence po enačbi:

$$A_{rast} = 0.006s^3\sqrt{f} \quad [6]$$

V našem primeru je poraščenost terena praktično zanemarljiva, poleg tega gre za majhne oddaljenosti do hrupnih virov, zato je ne upoštevamo.

Zaslanjanje

Za debeline ovir, ki so bistveno manjše kot valovna dolžina hrupa, se lahko vpliv te debeline zanemari. Zmanjšanje hrupa zaradi debele pregrade, nasipa ali stavbe je občutno višje kot v primeru tankih pregrad. Pri debelih pregradah, kot so n.pr. stavbe, prihaja do dvojnega oziroma večkratnega uklona. Pri tem je pomembna vrednost z - zaščitna vrednost, enaka razliki med dolžino poti od kraja hrupa preko roba zaščite do imisijske točke in neposredni oddaljenosti obeh mest s po enačbi:

$$z = a + b + c - s \quad [7]$$

a je v tem primeru oddaljenost emisijskega mesta od prvega uklonskega roba, b predstavlja oddaljenost zadnjega uklonskega roba od imisijskega mesta, c pa vsoto razdalj med uklonskimi robovi. Različni standardi upoštevajo poenostavljeno oceno v primeru prisotnosti takšnih ovir.

V našem primeru pride tako v manjši meri do izraza vpliv lastnih stavb (n.pr. kompresorske in plinske postaje), ki zaslanjata del hrupa iz črpališča proti izpostavljenem severnemu delu meje.

Razširjanje hrupa iz stavb v okolje

Raven hrupa, ki se razširja iz notranjosti hrupnih prostorov črpališča, kompresorske in plinske postaje v okolje skozi njihove stene in prezračevalne odprtine, ocenimo na oddaljenosti s s pomočjo enačbe:

$$L_s = L_{not} - R'_w - 4 - \Delta L_s \quad [8]$$

pri tem pomeni:

L_{not} srednja raven zvočnega tlaka v notranjosti hrupnega prostora;

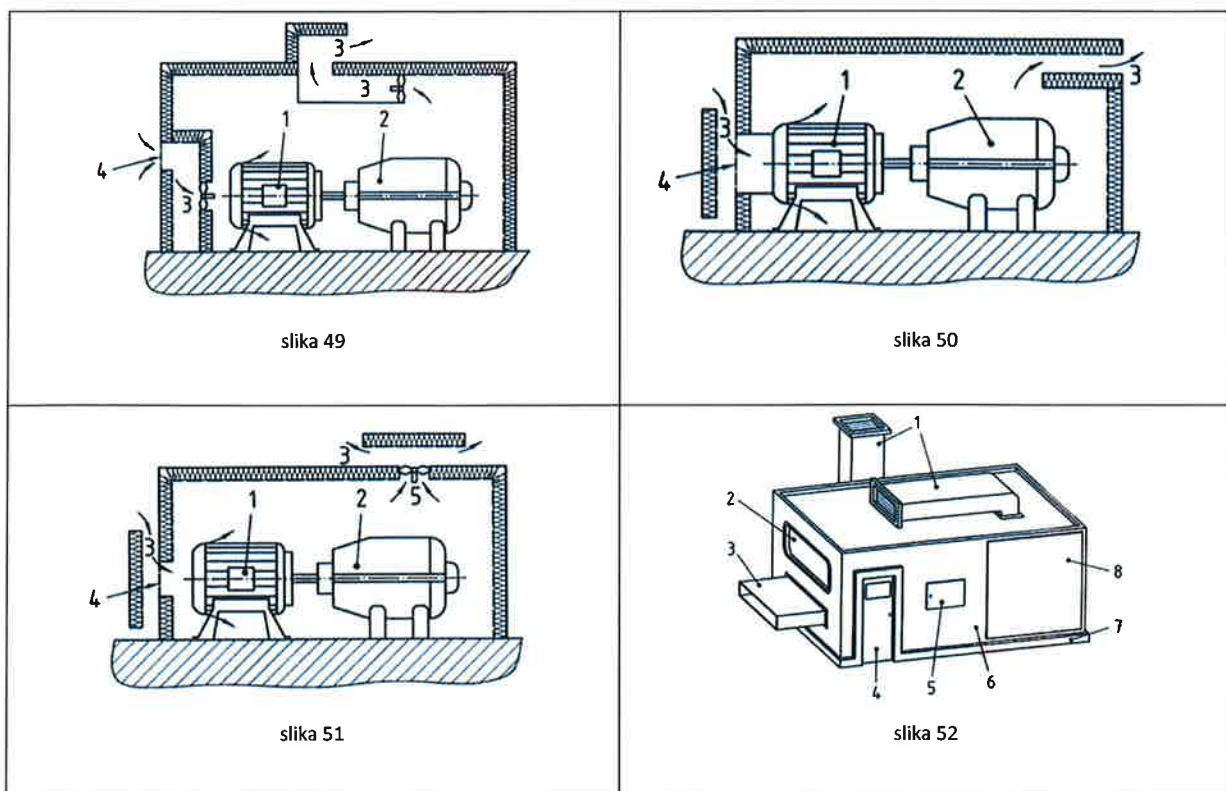
R'_w srednja zvočna izolirnost fasadne stene s površino S , skozi katero se hrup pretežno razširja proti izpostavljenemu objektu;

ΔL_s je geometrijska divergenca razširjanja hrupa na oddaljenosti s in jo določimo po enačbi:

$$\Delta L_s = 10 \log 2 \pi \frac{s^2}{S} \quad [9]$$

L_{not} lahko ocenimo iz skupne moči vseh hrupnih virov v notranjosti hrupnega prostora L_w , odmevnega časa T (s) v prostoru in njegove prostornine V (m³) kot

$$L_{not} = L_w + 14 + 10 \log(T/V) \quad [10]$$



Hrup se iz notranjosti zgradb prenaša v okolico skozi zunanje stene stavbe. Zato je odločilnega pomena zvočna izolacija zunanjih sten stavbe. V našem primeru so v zunanjih stenah hrupnih stavb vgrajene tudi prezračevalne odprtine, ki pa niso protihrupno obdelane. Taka stena je v akustičnem pomenu kombinirana pregrada, sestavljena iz dveh ali več delov z različnimi površinami in vrednostmi zvočne izolativnosti. Za zvočno zaščito je tako odločilna zvočna izolacija celotne sestavljene zunanje stene, ta pa je odvisna od zvočnih izolacij posameznih delov in od njihovih površin.

Ker so v fasadnih stenah instalirane prezračevalne površine, je skupna zvočna izolativnost fasadne stene $R'_{w,sk}$ s površino S_{sk} odvisna od izolativnosti zidane fasadne stene $R'_{w,st}$ njene površine S_{st} , ter od izolativnosti odprtin $R'_{w,odprt}$ in njihovih površin S_{odprt} , skladno z enačbo

$$R'_{w,sk} = R'_{w,st} - 10 \log \left[1 + \frac{S_{odprt}}{S_{sk}} (10^{0.1(R'_{w,st} - R'_{w,odprt})}) \right] \quad [11]$$

Najšibkejši člen v zvočni izolativnosti fasadnih sten objektov predstavljajo odprtine. Čim večji je delež odprtin napram celotni površini vseh sten, tem slabša je zvočna izolativnost. V primeru akustično neobdelanih odprtin rezultirajoča izolativnost občutno pade, kar približno ocenimo s pomočjo enačbe:

$$R'_w = -10 \log(p) \quad [12]$$

To pomeni, da v primeru deleža odprtin $p=1/1000$ dosežemo največ 30 dB izolirnost, pri $1/100$ največ 20 dB, pri $1/10$ največ 10 dB, itd.

Iz tega sledi, da morajo biti prezračevalne odprtine čim manjše in akustično obdelane.

V notranjosti obravnavanih hrupnih stavb so zaradi slabe absorpcije in medsebojno vzporednih sten prisotni tudi stoječi zvočni valovi različnih frekvenc. Pri dimenzioniranju objektov v smislu protihrupne zaščite je po drugi strani potrebno paziti tudi na preprečitev resonančnih učinkov zaradi prožnosti zraka med stenami in posameznimi deli hrupnih naprav. Zaradi tega je potrebno zagotoviti ustrezne odmike oziroma oddaljenosti med njimi. To minimalno oddaljenost l ocenimo s pomočjo enačbe:

$$l \geq \frac{10^4}{m f^2} \quad [13]$$

m predstavlja površinsko maso zunanje plosče (v kg m^{-2}), f pa je najnižja frekvenca, katere redukcijo še obravnavamo (v Hz). Oddaljenost l je izračunana v metrih. V našem primeru imamo opravka s frekvencami nad 1000 Hz, površinska masa sten pa presega 100 kgm^{-2} . Zato odmik hrupnih strojev in naprav od priležnih sten praviloma ne povzroča težav.

Glede na hrupne vire, ki bodo nameščeni v notranjosti stavb z relativno dobrimi zvočnimi izolirnostmi fasadnih in strešnih elementov, nas zanima kakšen je njihov vpliv na imisijo hrupa pred izpostavljenimi stanovanjskimi objekti. Raven hrupa L_p , ki se razširja iz elementa površine stavbe v okolje ocenimo na oddaljenosti s s pomočjo podobne enačbe kot [12], le da upoštevamo še usmerjenost:

$$L_s = L_{not} - R'_{wS} - 4 - \Delta L_s - \Delta L_{usm} \quad [16]$$

pri tem pomeni:

L_{not} srednja raven zvočnega tlaka v notranjosti hrupnega prostora;

R'_{wS} srednja zvočna izolirnost fasadne stene s površino S , skozi katero se hrup pretežno razširja proti izpostavljenemu objektu;

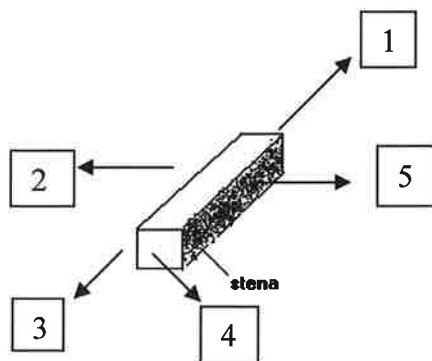
ΔL_s je geometrijska divergenca razširjanja hrupa na oddaljenosti s in jo določimo po enačbi:

$$\Delta L_s = 10 \log 2 \pi \frac{s^2}{S} \quad [17]$$

ΔL_{usm} je usmerjenost

Usmerjenost posameznih ploskev fasadnih sten zaprtega objekta glede na za hrup občutljive smeri upoštevamo skladno s spodaj navedenim modelom.

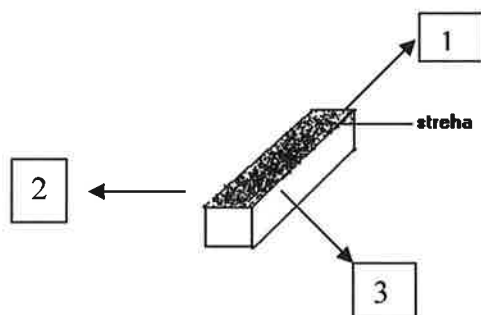
Sevanje v pravokotni (in v priležni diagonalni) smeri frontalno	$\Delta L_{usm} = 0$
v tangencialni smeri ploskve	$\Delta L_{usm} = 5 \text{ dB}$
v nasproti ležeči diagonalni smeri	$\Delta L_{usm} = 10 \text{ dB}$
v pravokotni vzvratni smeri	$\Delta L_{usm} = 20 \text{ dB}$



Usmerjenost sevanja elementov fasadne stene objekta

- | | |
|----------------------------|---------------------------|
| 1. $\Delta L_{usm} = 5dB$ | 4. $\Delta L_{usm} = 0dB$ |
| 2. $\Delta L_{usm} = 20dB$ | 5. $\Delta L_{usm} = 0dB$ |
| 3. $\Delta L_{usm} = 10dB$ | |

Podoben problem velja tudi za strešne površine hrupnih objektov



Usmerjenost sevanja strehe

1. $\Delta L_{usm} = 5dB$
2. $\Delta L_{usm} = 5dB$
3. $\Delta L_{usm} = 5dB$



sevalna površina

Pri tem predstavlja ΔL_{usm} člen, ki upošteva usmerjenost zvočnega sevanja ploskve v smeri proti izpostavljeni imisijski točki.

Posamezne elemente fasadne stene je treba izbrati tako, da bo njihova največja razsežnost najmanj dvakrat manjša, kot je njihova oddaljenost do preiskovane, oziroma za hrup občutljive lokacije.

5.1 MODEL ŠIRJENJA HRUPA V OKOLJE obstoječe stanje

Meritve in analize dosedanjih ravni hrupa, ki ga povzroča obratovanje Energetike, vključno z novimi energetske kapacitetami po letu 2009 kažejo, da na parcelnih mejah podjetja Energetika Ljubljana, d.o.o., niso bile prisotne prekomerne obremenitve okolja s hrupom.

S pomočjo modelnega izračuna smo določili vrednost posameznih kazalcev hrupa, ki se v okviru zahtevane natančnosti ujemajo z izmerjenimi vrednostmi dne 21.2.2012. Odstopanja so predvsem posledica dejstva, da terenske meritve na določenih merilnih mestih zajamejo še hrup okolice (vpliv ceste in sosednjih industrijskih objektov), ki bistveno vpliva na izmerjene vrednosti, predvsem če zvok preiskovanega vira hrupa ne prevladuje.

Tabela 11: Kazalci hrupa na mejah Energetike:

Številka Receptorja	Višina receptorja [m]	L_d [dB(A)]	L_v [dB(A)]	L_n [dB(A)]	L_{dvn} [dB(A)]
1	4	62	62	56	65
2	4	61	61	57	65
3	4	53	53	51	58
4	4	51	51	46	54
5	4	55	55	50	58

Receptorji so bili postavljeni kot prikazuje spodnja skica:



Slika je informativna

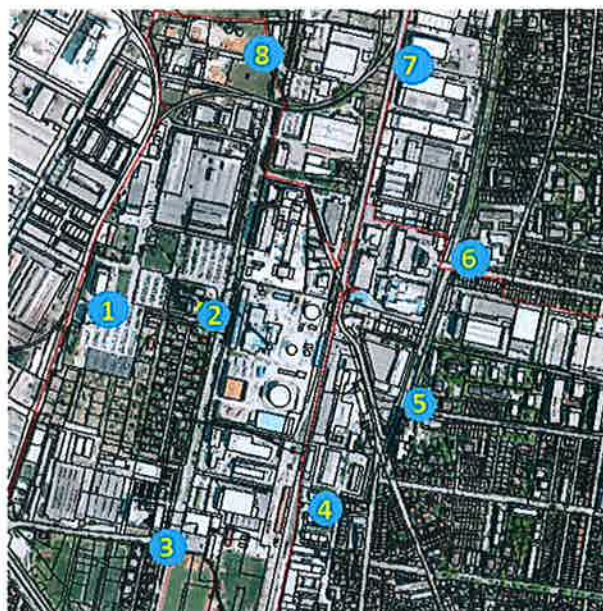
Vir: www.arso.gov.si

Prav tako smo z modelnim izračunom določili nivoje hrupa v širši okolici Energetike, kjer se nahajajo nekateri stanovanjski objekti, osnovna šola in vrtec:

Tabela 12: Vpliv hrupa zaradi delovanja JP Energetika - obstoječe stanje

Naslov	Številka Receptorja	Višina receptorja [m]	L_d [dB(A)]	L_v [dB(A)]	L_n [dB(A)]	L_{dvn} [dB(A)]
Alešovčeva 82 (vrtec Lek)	1	4	<30	<30	<30	30
Milčinskega 72	2	4	33	33	28	36
Milčinskega 25	3	4	<30	<30	<30	<30
Podmilščakova 57A	4	4	<30	<30	<30	<30
Glavarjeva 56	5	4	<30	<30	<30	<30
Ul. Pohorskega Bataljona 1 (OŠ)	6	4	<30	<30	<30	<30
Slovenčeva 21	7	4	34	34	30	38
Verovškova 70	8	4	37	37	32	40

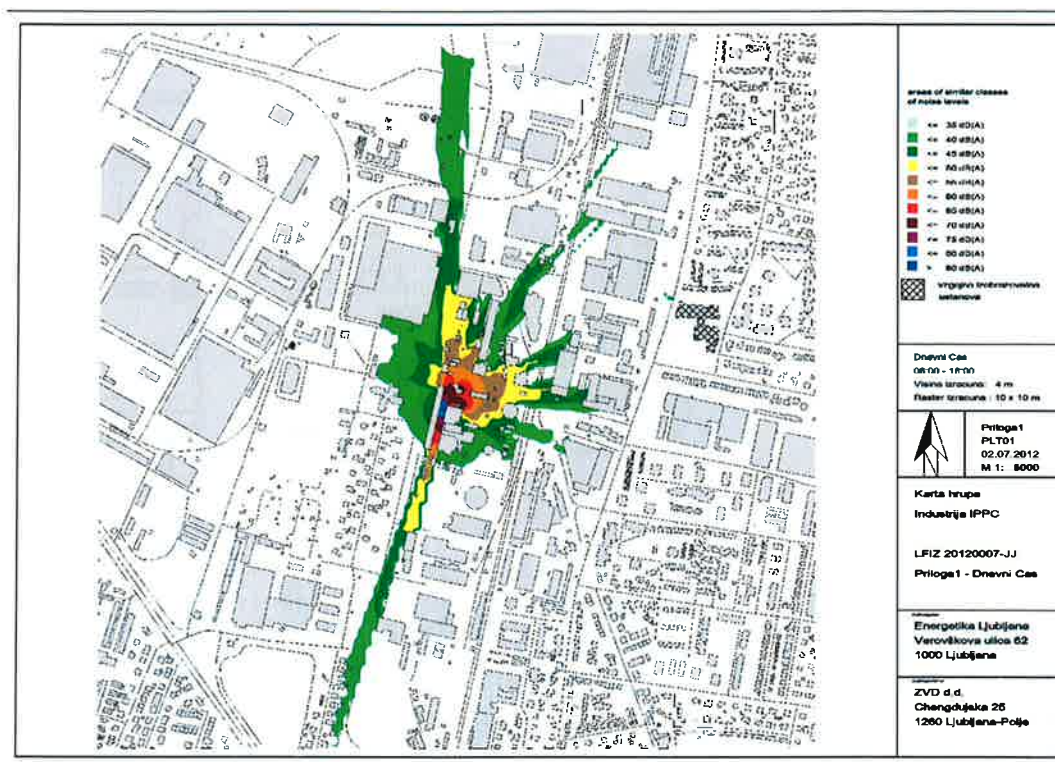
Receptorji so bili postavljeni kot prikazuje spodnja skica:

**Slika 3:** Lokacije receptorjev okoli JP Energetika

Kot osnovo karte hrupa smo tako določili obremenitve, ki nam služijo kot baza za določanje vseh virov prisotnih na območju Energetike.

Iz rezultatov meritev in opravljenih analiz je prav tako razvidno, da je bila raven hrupa zaradi obratovanja vseh obstoječih hrupnih virov Energetike v okolju pod mejno vrednostjo, predpisano za obratovanje tako v dnevnem, večernem, kot tudi v nočnem času. Ker gre za industrijsko območje, znašajo dovoljene nočne ravni hrupa 63 dBA na parcelnih mejah z drugimi podjetji, saj območje v celoti leži v IV. stopnji varstva pred hrupom. Na naslednjih štirih slikah so ločeno prikazane karte hrupa za dnevni, večerni, nočni čas ter za 24 urni kazalec L_{dvn} . Priložene karte hrupa ponazarjajo razmere, ki so značilne za obremenitev s hrupom na višini 4 m nad tlemi. Posebnosti tihih fasad zaradi nizkih ravni hrupa v okolici podjetja Energetika Ljubljana, d.o.o. ni.

Slika 4: Karta hrupa – Dnevni čas – obstoječe stanje

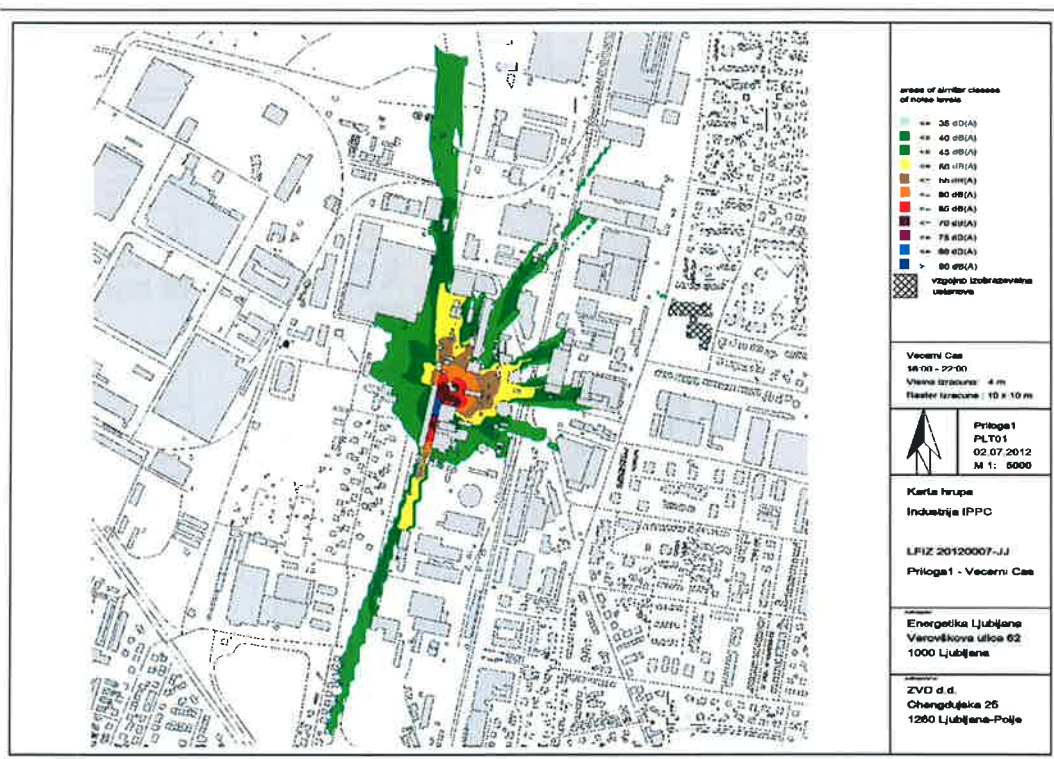


Na zgornji sliki je prikazano širjenje hrupa v dnevnem času na 4 m višine. Zaradi obratovanja Energetike in položaja najglasnejših virov hrupa je s hrupom najbolj obremenjena severna parcelna meja, kjer znašajo vrednosti kazalcev hrupa L_d od 60 do 62 dB(A). Ravni hrupa proti zahodu in vzhodu močno padejo kot posledica oddaljenosti in učinka visokih poslovnih in industrijskih objektov. Hrup pri Osnovni šoli Franceta Bevka in vrtcu Lek (šrafirani stavbi na vzhodu in zahodu) je tako zanemarljiv.

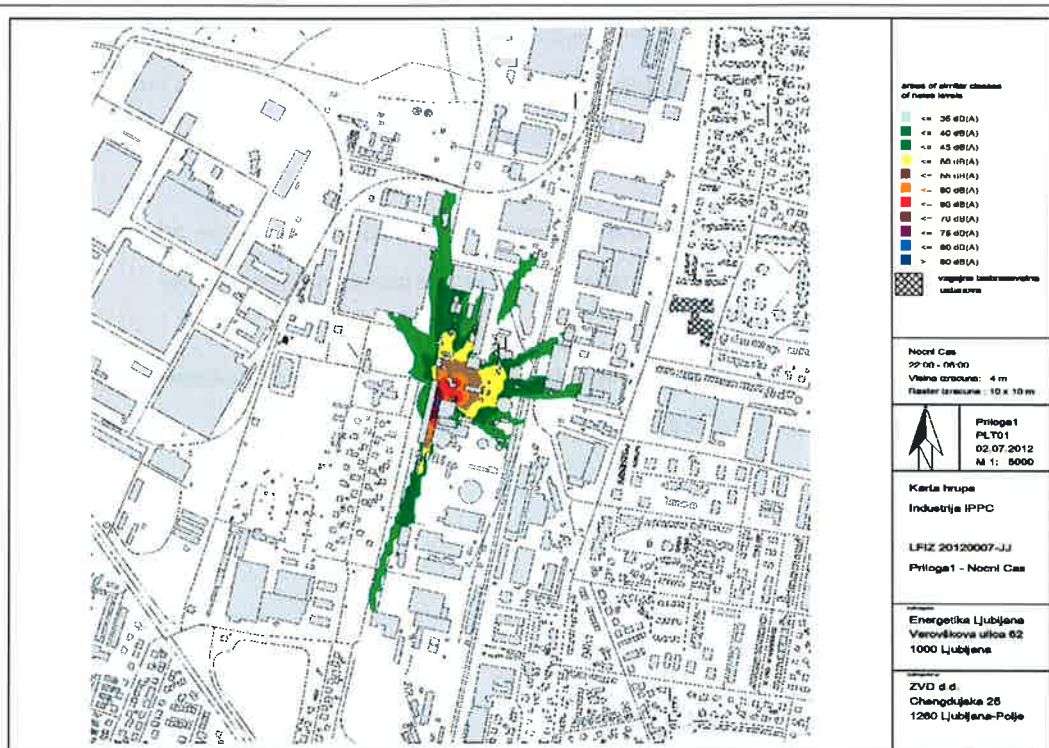
Zaradi goste pozidave okoliškega terena, model širjenja hrupa bistveno odstopa od pogojev razširjanja v prostem zvočnem polju (vpliv odbojev, kanjonskih efektov vzdolž prometnic in podobno)

V večernih urah delujejo enaki viri kot v dnevnem času, zato sta si karti hrupa podobni. Nivo hrupa v nočnem času nekoliko pade, kar je posledica delovanja manjšega števila virov.

Slika 5 : Karta hrupa – Večerni čas – obstoječe stanje

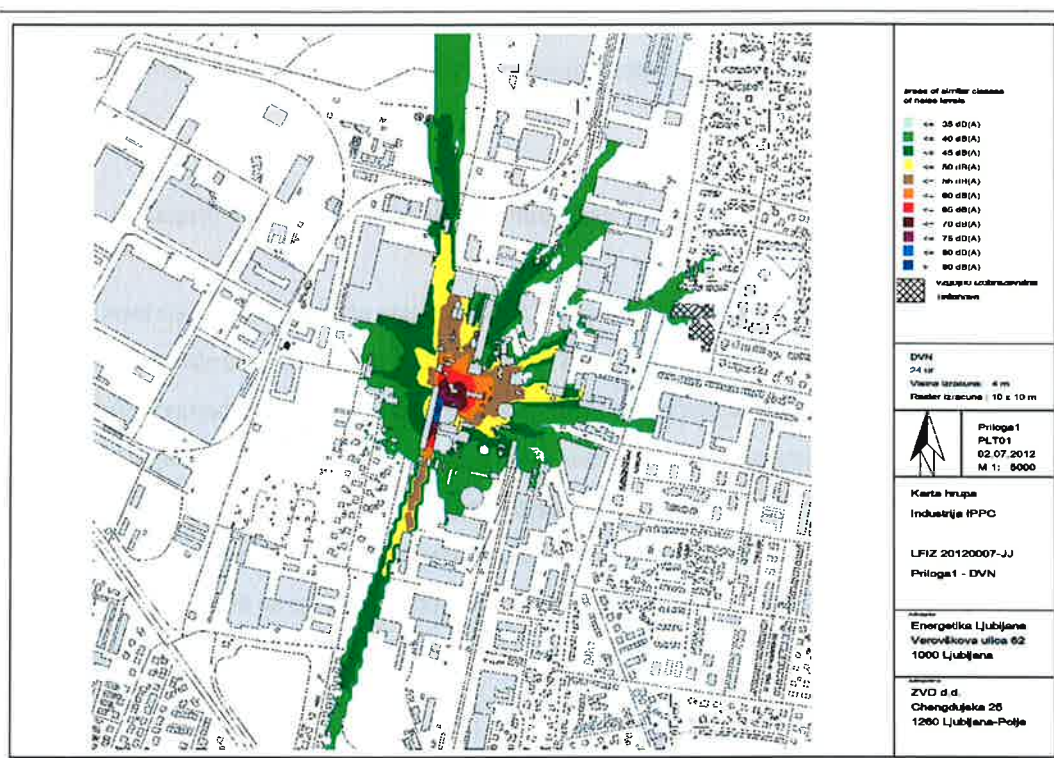


Slika 6: Karta hrupa – Nočni čas – obstoječe stanje



24 urni hrup (prikazan s kazalcem DVN) nam kaže celotno obremenitev okolja s hrupom skupaj s penalnimi vrednostmi za večerni (+5 dBA) in nočni čas (+10 dBA), zaradi česar je širjenje hrupa bistveno širše. Penalne vrednosti so predpisane z zakonodajo in se uporabljajo pri izračunu 24 urnega hrupa. Temeljijo na predpostavki, da je ista reven hrupa bistveno bolj moteča v večernem in nočnem času.

Slika 7: Karta hrupa – 24 urni kazalec – obstoječe stanje



V okolici Energetike Ljubljana d.o.o. se poleg industrijskih obratov nahajajo še nekateri stanovanjski objekti na Verovškovi ulici, na Milčinskega ulici, Ulici Pohorskega Bataljona in okoliških ulicah. Glede na podatke o številu stanovanjskih enot in gostote poseljenosti tega dela Ljubljene (2.3 oseba/ stanovanje) smo z analizo motenja zaradi hrupa vira ocenili število obremenjenih stanovalcev glede na obremenitve posameznih fasad.

Tabela 13: Obremenitve (glede na ocenjeno število okoliških prebivalcev) so označene po 5 dB(A) pasovih od 30 do 40 dB(A) za L_{noc} in L_{DVN} .

Pas hrupa v dB(A)	ocenjeno število obremenjenih oseb za noč	Ocenjeno število obremenjenih oseb za dvn
< 30	875	875
30 – 35	1	69
35 – 40	0	3
skupaj	876	947

Iz analiz obremenjenosti je razvidno, da okoliški stanovanjski objekti niso prekomerno obremenjeni s hrupom zaradi delovanja Energetike, saj je hrup do 35 dB(A) v mestnem okolju praktično zanemarljiv. V okolici JP

Energetike je namreč tudi več prometnih cest, ki zaradi svoje lege (speljane so namreč od izvoza Ljubljanske obvoznice) proti središču Ljubljane (Slovenčeva, Verovškova cesta), nosijo velik del prometa v tem območju, kjer je močna prisotnost tudi ostale industrije.

5.2 MODEL ŠIRJENJA HRUPA V OKOLJE po izvedbi obnove

Pri upoštevanju nove situacije, po izvedenih spremembah na viru hrupa so bili na iste pogoje kot so opisani v karti hrupa obstoječega stanja (točka poročila 5.1), s simulacijo postavljeni novi viri z novimi podatki o zvočnih močeh na tistih lokacijah, kjer naj bi bila ta spremenjena (npr. dodatni kompresorji, sprememba lokacije izpusta dimnih plinov ipd.).

Pri novem modelnem izračunu smo upoštevali naslednje nove ali spremenjene vire hrupa.

1. Nova plinska turbina SPTE na lokaciji glavnega proizvodnega objekta (zraven kotlovnice, označen pod številko 1) je bila spremenjena moč turbine in smo podatke glede nove turbine prevzeli iz tehnične dokumentacije Turbomach za model turbine TAURUS 70 – po podatkih (e-mail Turbomach 30.05.2012) Skupaj z inštalacijskimi sistemi filtrnimi sistemi ter zvočno zaščito smo ugotovili, da predstavlja vir hrupa predvsem izpust hladilnega sistema filtrni sistem za dovod svežega zraka in delovanje same turbine, ki je ocenjeno na 98 dB(A) znotraj akustičnega okrova. Skupni vpliv hrupa na izpustih in zajemih je tako ocenjena na 75 dB(A) in hrup na izpustu z upoštevanjem dušenja zaradi konstrukcije za 18 dB(A). Poleg virov hrupa povezanih z odvodom in dovodom zraka se na tej lokaciji nahaja tudi hladilni sistem za hlajenje turbinskega mazalnega olja. Ker zanj nismo dobili podatkov o zvočni izolirnosti smo njegovo zvočno moč ocenili s pomočjo merjenja hrupa. Ta vir, ki se nahaja na strehi objekta SPTE ima zvočno moč 101 dB(A).

Te vrednosti predstavljajo maksimalne vplive hrupa brez časovne omejitve delovanja turbine preko celega leta in možnosti, da bo turbina delovala tudi z znižano jakostjo. Od omenjenih virov turbine je tako bistveno izstopajoč vir hrupa izpust dimnih plinov, ki bo glede na časovno omejitev povzročal vsaj 95 dB(A) hrupa neposredno na okolje v povprečju delovanja preko celotnega leta. Dušenje izpusta smo povzeli po dveh proizvajalcih in upoštevali takšno situacijo, ki je najbolj podobna trenutnemu sistemu. Ker nekateri proizvajalci sicer zagotavljajo celo nižje emisije smo skupno zahtevo na izhodu dimnika (tabela 14) povzeli z vsaj naslednjimi podatki. Hrup na izhodu iz dimnika ne sme presegati naslednjih parametrov:

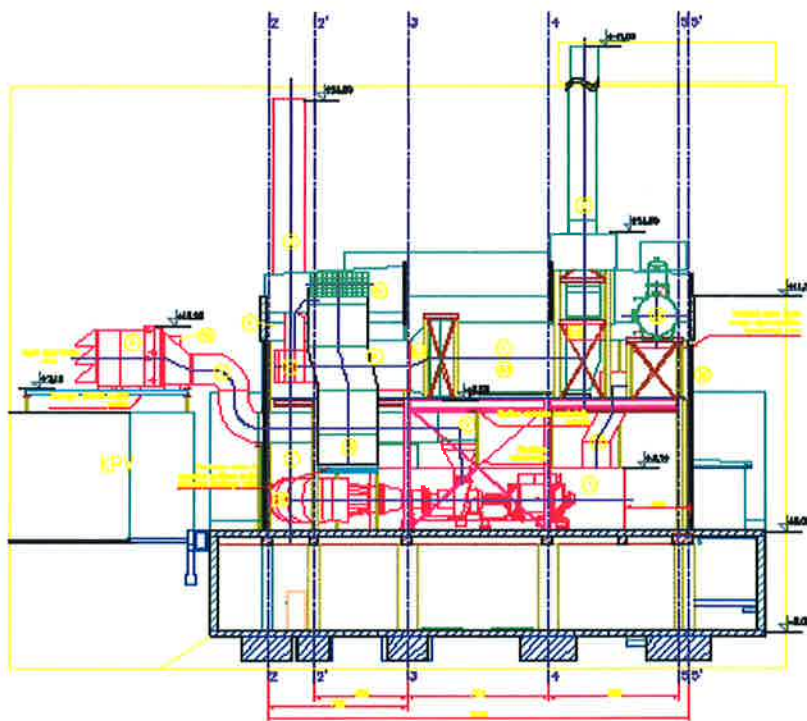
Tabela 14: Emisija na izpustu (vpliv dušilca,) na 15 m od vira

pri frek.	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	8k Hz	skupaj
Laeq (A)	94 dB(A)	91 dB(A)	95 dB(A)	97 dB(A)	93 dB(A)	87 dB(A)	80 dB(A)	67 dB(A)	98 dB
att. dušilca	-8	-13	-37	-40	-46	-37	-21	-20	

Vrednosti iz tabele 14 je upoštevana tudi pri izdelavi modela širjenja hrupa v okolju, poleg ostalih virov hrupa na 121 dB.

Reducirni ventil smo upoštevali kot vir z zunanjim vplivom hrupa s 84 dB(A). Glede na način obratovanja namreč ne povzroča konstantnega hrupa ampak hrup niha glede na stanje obratovanja ventila. Podatek o ventilu smo pridobili iz knjižnice virov hrupa za tovrstne naprave.

Ventilator za tesnilni zrak ima tri lopute locirane nad glušnikom odvoda dimnih plinov glede na podatke smo ocenili, da bo hrup ventilatorjev (zvočna moč) 90 dB(A).



Slika 8 prerez objekta v katerem je nameščena plinska turbina

Dušenje turbine je upoštevano kot dušenje z okrovi in objektom ter dušenje z dušilci na izpuhu turbinskega objekta.

2. Zamenjava kompresorja zemeljskega plina je določena kot novi vir, Zamenjani kompresor bo predstavljal podobne ravni hrupa kot obstoječi.

3. Postavitev novega transformatorja Novi transformator glede na podatke, ki so nam bile dostopne bo povzročal hrup med 60 in 68 dB(A) odvisno od zunanjih pogojev. V povprečju smo upoštevali hrupno obremenitev s 65 dB(A).

4. Zamenjava dizel agregata je preračunano na vir hrupa in ocenjena na 103 dB(A) zvočne moči, ker je agregat postavljen stran od glavnega vira hrupa sicer vpliva na hrup, vendar zaradi majhnega števila letnih obratovalnih ur (300) to predstavlja njegov vpliv z ravniyo hrupa 89 dB(A).

5. Zamenjava obstoječih transformatorjev, posodobitev SN stikališča in zamenjava transformatorja lastne rabe ne bo bistveno vplivala na hrup, ki se širi v okolico, ker so te viri znotraj zgradb (na podobnih mestih kot do sedaj) in so njihove emisije bistveno nižje

6. Centrifugo za čiščenje goriva s 15 kW elektromotorjem smo upoštevali pri izdelavi modela z nivojem hrupa (glede na literaturo namreč očitno podana vrednost pomeni raven na določeni oddaljenosti) 92 dB(A). Pri tem smo upoštevali, da bo naprava instalirana tako, da se vibracije ne bodo nemoteno širile v okolje in povzročale dodatnega hrupa. Način primerne montaže centrifuge bo definiran pri obravnavi ostalih nizkofrekvenčnih hrupnih virih. Vir se nahaja v betonskem objektu ocenjene izolirnosti 18 dB(A).

Centrifuga 6 sicer vpliva na skupne ravni hrupa v okolici, predvsem je pomemben način vgradnje, vendar ne spada v obravnavano fazo projekta.



Slika 9: Situacija sprememb po objektih (označeno z zeleno)

Pri modelnem izračunu smo upoštevali naslednje objekte:

Obstoječe stanje privzeto iz modelnega izračuna obstoječega stanja:

MRP PLIN
OBSTOJEČI TRANSFORMATORJI (OB ČRPALIŠČU)
ČRPALIŠČE
VSE DELAVNICE (s povprečnimi obremenitvami, ki so zajete v meritve celotnega sklopa objektov)
KOTLOVNICA (minimale vpliv)
DIMNIK (minimalen vpliv)
HLADILNIK olja plinske turbine
HLADILNI STOLPI (vodno hlajenje)

Novi viri hrupa (v okviru obnove kogeneracijskega postrojenja v TOŠ):

KOMPRESORSKA POSTAJA
SN STIKALIŠČE (nepomeben vpliv)
SPT (z vsemi pomebnimi viri - hlajenje odvod in dovod, hlajenje mazalnega olja, dušilci v dimniku, okrovi in sama turbina)
CENTRIFUGA ZA ČIŠČENJE GORIVA (dodana kasneje)
TRAFO POSTAJA (nepomeben vpliv)
0,4 kV STIKALIŠČE (nepomeben vpliv)

Pri upoštevanju vseh novih in spremenjenih virov hrupa je povprečna hrupna obremenitev v okolici JP Energetika približno enaka ravni hrupa, ki so prisotne pri obratovanju sistema že sedaj. Gre za grobo oziroma preliminarno oceno, ki jo je smiselno korigirati v naslednjih fazah, ko bodo posamezni podrobnejši vhodni podatki o hrupnih virih. Pri modelnem izračunu niso upoštevane zelo nizke frekvence (pod 100 Hz), ki lahko vplivajo na skupne ravni hrupa.

Model širjenja hrupa temelji na standardu SIST ISO 9613-2. Viri hrupa v modelu so opredeljeni kot točkovni in ploskovni viri. Vsi manjši izpusti, dimnik in ventilatorji so definirani kot točkovni viri. Hrup, ki ga povzročajo viri hrupa v objektu pa so zaradi vpliva na fasado definirani kot ploskovni viri, ki prikazujejo koliko hrupa seva posamezna fasada zaradi virov, ki so znotraj objekta. Navadno točkovni viri zunaj objekta tako preglasijo vpliv fasade, da ta vir spada med nepomembne vire hrupa, vendar ga moramo zaradi sinergijskih učinkov vseh virov vseeno upoštevati pri skupnem izračunu vpliva hrupa na okolje.

Kot podlogo objektov (3d model terena) smo uporabili 3d GIS podatke, ki smo jih pridobili preko javno dostopnih podatkov Geodetske uprave RS ter katastra stavb RS. Podatek smo združili s situacijo JP Energetike, ki nam jo je posredovalo podjetje IEM v okviru projekta prenove kogeneracije in obnove elektro pretikalšč.

Območje obravnave je večinoma pozidano in na poti širjenja ni večjih ozelenelih površin. Zato smo na večjem delu obravnavanega območja upoštevali, da se hrup širi preko odbojnih površin. Nekaj manjših delov, kjer je več zelenja (npr. ob Verovškovi cesti) pa ne vpliva na razširjenje hrupa.

Pri izdelavi modela širjenja hrupa v okolje smo ugotovili, da se največ zvočne energije širi vzdolž Verovškove ceste, del pa se tudi odbije od poslovne stavbe Energetike preko železniške proge, kjer pa je na srečo večje

industrijsko območje in je oddaljenost do sosednjih stanovanjskih objektov sorazmerno velika, kar se pozna tudi pri vplivu Energetike na to območje.

Pri časovnem okviru smo upoštevali kot osnovo 365 dnevna povprečja za posamezen vir hrupa. Podatki, ki so bili vstavljeni v model pa upoštevajo tudi efektivni čas obratovanja virov hrupa. Ob upoštevanju takšnih pogojev je v dnevnem času širjenje hrupa predvideno, skladno s spodnjo sliko:

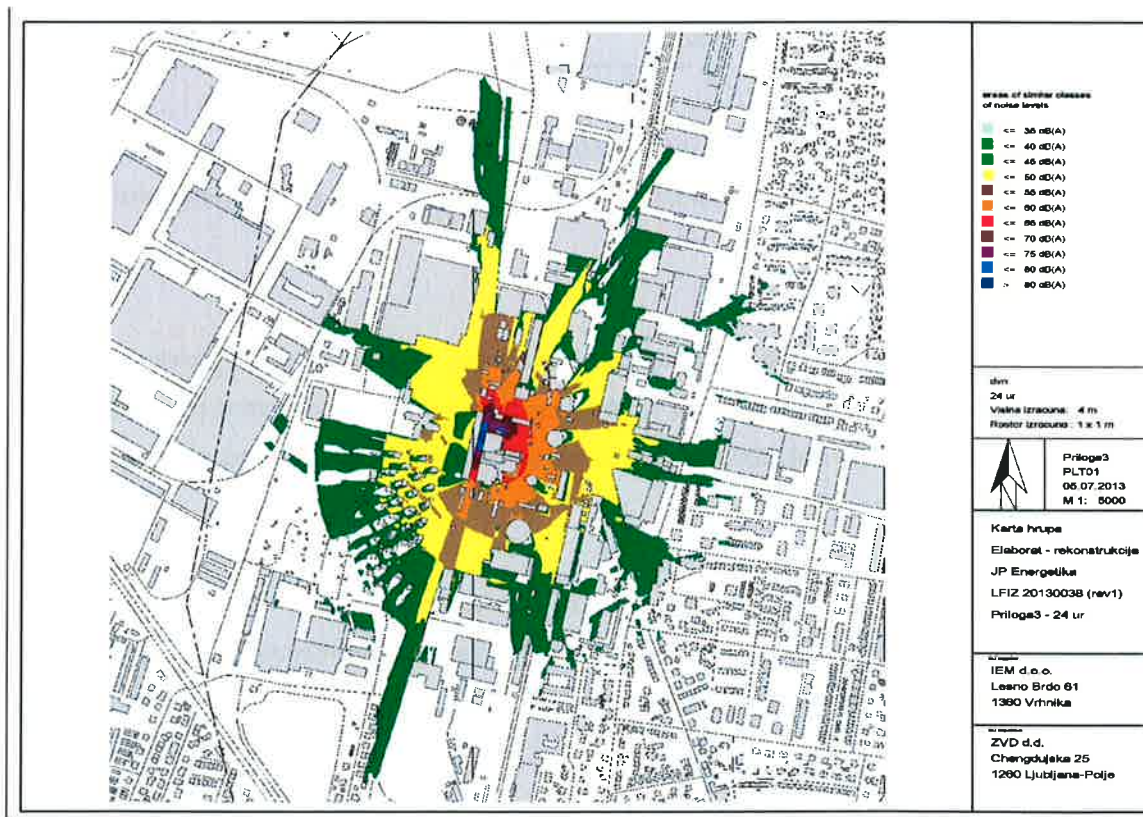


Slika 10: Vpliv hrupa na okolje po izvedenih rekonstrukcijskih delih (dnevni - Ld)

Na sliki 10 imamo prikaz modela širjenja hrupa v okolje za dnevni čas. Na sliki 11 in 12 pa še za nočni / večerni čas ter 24 urno časovno obdobje z upoštevanjem zakonsko predpisanih dodatkov. V večernem času je tako hrup povečan za 5 dB(A) in v nočnem za 10 dB(A).



Slika 11: Vpliv hrupa na okolje po izvedenih rekonstrukcijskih delih (večerni / nočni čas Ln)



Slika 12: Vpliv hrupa na okolje po izvedenih rekonstrukcijskih delih - 24 urni kazalec Ldn

Za primerjavo kakšen bo hrup glede na obstoječe stanje smo na istih imisijskih mestih, kot je bilo to že izvedeno za karto hrupa obstoječega stanja izdelali tudi analizo vpliv po vseh štirih kazalcih hrupa za novo stanje.

Tabela 15: Rezultati obremenitev najbližjih fasad (primerjava z obstoječim stanjem)

Naslov	Številka Receptorja	Višina receptorja [m]	Obstoječe stanje				novo stanje			
			L_d [dB(A)]	L_v [dB(A)]	L_n [dB(A)]	L_{dvn} [dB(A)]	L_d [dB(A)]	L_v [dB(A)]	L_n [dB(A)]	L_{dvn} [dB(A)]
Alešovčeva 82 (vrtec Lek)	1	4	<30	<30	<30	30	<30	<30	<30	31
Milčinskega 72	2	4	33	33	<30	36	32	31	31	36
Milčinskega 25	3	4	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	31
Podmilščakova 57A	4	4	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	33
Glavarjeva 56	5	4	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Ul. Pohorskega Bataljona 1 (OŠ)	6	4	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30	<30
Slovenčeva 21	7	4	34	34	30	38	31	31	<30	34
Verovškova 70	8	4	37	37	32	40	31	31	<30	34

Tabela 16: Obremenitve so označene po 5 dB(A) pasovih od 30 do 50 dB(A) za L_{noc} in L_{DvN} .

Pas hrupa v dB(A)	ocenjeno število obremenjenih oseb za noč	Ocenjeno število obremenjenih oseb za dvn
< 30	920	935
30 – 35	0	77
35 – 40	0	0
40 - 45	0	0
skupaj	920	1012

Pri ocenjenih obremenitvah smo upoštevali število ljudi glede na poseljenost omenjenega območja. Poseljenost tega območja (stanovanjski del) cca. 2,3 stanovalca na enostanovanjski objekt ali stanovanje v večstanovanjskih objektih.

Število obremenjenih prebivalcev po zgoraj opisani metodi nam pokaže, da ostaja število prebivalstva, ki zaznava omenjene vire hrupa praktično enako. razlika, ki se pojavi med rezultati pred in po posegu je glede na razpoložljive podatke majhna. Natančnejšo sliko bomo lahko prikazali po pridobitvi podrobnejših vhodnih podatkov v naslednjih fazah.

Pomembno pri obravnavi dobljenih podatkov pa je, da ni prebivalcev, ki bi bili zaradi obravnavanega vira izpostavljeni ravno preko 45 dB(A), ki lahko pri dolgotrajnih časih izpostavljenosti povzročijo tudi določene stresne situacije, oziroma z njimi povezane zdravstvene težave.

6. ZAKLJUČEK

Glede na podatke o novem viru hrupa in podatke o hrupu obstoječega stanja ugotavljamo, da se hrup po rekonstrukciji in zamenjavi plinske turbine ne bo bistveno spremenil (na nekaterih mestih se je celo nekoliko znižal). Pri izvedbi zamenjave turbine je treba upoštevati dejstvo, da omenjena študija ne zajema vpliva zelo nizkih frekvenc (pod 100 Hz vpliv modela ne prikaže zadosti natančnih vrednosti), ker te v okviru obstoječih predpisov niso predvidene. Gre namreč za nadgradnjo, ki jo je treba predhodno dogovoriti z naročnikom. Ker so plinske turbine veliki generatorji infrazvoka pa lahko pri izvedbi montaže nastanejo situacije, ki omogočajo lažje širjenje zvoka nizkih frekvenc v okolico. Sicer so nizke frekvence sorazmerno neslišne za normalno človeško uho vendar vplivajo na človeka tudi preko drugih organov in zmanjšujejo kvaliteto bivanja okoliških prebivalcev. Zato je v teku nabave opreme in izvajanja montaže smiselno slediti ali se upoštevajo vsi ukrepi, ki bodo v bodočnosti zmanjševali vplive nizkofrekvenčnega hrupa na okolico. To so predvsem tehnični ukrepi, ki so vezani na montažo same naprave in gradbenih posegov na objektu, kjer je naprava vgrajena.

Ostali del frekvenčnega spektra hrupa bo glede na izračunane obremenitve po modelu širjenja hrupa, ki smo ga uporabili, predstavljal praktično enak oz. nekoliko zmanjšan vpliv hrupa na okolje.

S ciljem zagotovitve, da se obstoječe staje ne bo poslabšalo, pa je potrebno poskrbeti za dve vrsti ukrepov:

Ukrepi v času gradnje:

- Vpliv hrupa v času gradnje se poveča zaradi hrupnih gradbenih del in ni bil zajet v tem elaboratu. Ker je težko časovno določiti koliko časa se bodo posamezna dela izvajala, pa velja razmisliti v času izvedbe gradbenih dela na najbolj izpostavljenih predelih o vsaj trikratnem monitoringu hrupa v času izvajanja gradbenih del.
- Uvesti je treba tišje delovne postopke v kolikor jih imamo na razpolago.
- Transport iz gradbišča in na gradbišče naj bi bil planiran tako, da bo zaradi transporta samega obremenjeno kar se da majhno število stanovanjskih objektov.
- Pravočasno obveščanje okoliškega prebivalstva glede načrtovanih začasnih povečanj vpliva hrupa na okolje zaradi posameznih faz dela.

Ukrepi v fazi povpraševanja in nabave posameznih hrupnih sklepov

- V fazi izbire dobavitelja je potreben akustični consulting s proizvajalcem oziroma ponudnikom s ciljem identifikacije morebitnih povečanih emisij njihovega hrupa in zahtevami za njegovo zmanjšanje
- akustični consulting v zvezi z deklaracijami emisij niskofrekvenčnega hrupa in možnostmi njegovega zmanjšanja.

Ukrepi v času montaže in delovanja virov hrupa:

- Predlagamo, da se zaradi kontrole montaže in ugotavljanje morebitnih situacij, ki bodo vplivale na nemoteno razširjenja nizkofrekvenčnega zvoka, po izbiri opreme in izdelavi dokončnih načrtov, ti ponovno preverijo iz stališča nizkofrekvenčnega zvoka.
- Da se vse deli strojev, ki povzročajo vibracije ločijo od okrovov in glavnih plošč s primernimi diletacijami ali amortizerji na podnožju opreme. S tem preprečimo generiranje dodatnega zvoka zaradi vibriranja posameznih konstrukcij, ki ga ne moremo predvideti, dokler ne poznamo natančnih specifikacij opreme.
- Nadzor pri izvajanju montaže plinske turbine in pomembnih delov te turbine s stališča preprečevanja širjenja hrupa v okolje.

Ker je hrup, ki ga povzroča delovanje JP Energetike trenutno sorazmerno nizek bi že manjše povečanje tega hrupa verjetno povzročilo reakcijo okoliškega prebivalstva. Zato je potrebna komunikacija z okoliškim prebivalstvom, da se spremenjene razmere pravilno prikažejo.

Taki dogodki se glede na ugotovljena dejstva malo verjetni pri hrupu nad 100 Hz, so pa lahko bistveno bolj pogosti v primeru, da bo prišlo do pojava nizkofrekvenčnega hrupa.

Glede na model širjenja hrupa smo preverili tudi situacijo hrupa na območju Energetike, predvsem s stališča vpliva hrupa na delavce JP Energetika. Čeprav je elaborat izdelan za ugotavljanje vpliva hrupa na sosednje parcele in okoliško prebivalstvo pa lahko iz dobljenih rezultatov ugotavljamo, da bi bilo smiselno razmišljati o dodatni zaščiti pisarn glavnega poslovnega objekta JP Energetika. Sicer v času izdelave tega elaborata nismo razpolagali s podatki o merjenju hrupa na delovnem mestu, vendar lahko sklepamo, da je na dvorišču med proizvodnim objektom in poslovno stavbo hrup višji od 85 dB(A). To pomeni, da je za normalo delo v pisarnah potrebno zmanjšati s pasivnimi (fasada in okna) ukrepi hrup za vsaj 35 dB(A). Hrup v pisarnah naj namreč zaradi zunanjih vplivov naj ne bi presegal 55 dB(A).