

Naročnik:

MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR

Dunajska cesta 48

1000 Ljubljana

Join Venture:

A-PROJEKT, d.o.o.

Vinarje 110B,

2000 Maribor

ZAVOD ZA VARSTVO PRI DELU, d.o.o.

Chengdujska 25,

1000 Ljubljana

EPI SPEKTRUM, d.o.o.

Strossmayerjeva 11,

2000 Maribor

Strokovna študija

Zvezek: 1/1

Faza: PRED RECENZIJO

Poročilo:

**OCENA EMISIJ HRUPA VETRNIH
ELEKTRARN**

Številka poročila; Ref.:

Aprojekt 41/2017

Datum: Junij 2017

Poročilo pripravili:

mag. Aleš Globevnik, univ.dipl.inž.stroj., oec.
(A-PROJEKT, d.o.o.)

.....

Žig

dr. Ferdinand Deželak, dipl.inž.fiz.
(ZVD, d.o.o.)

.....

Žig

Rado Marhold, dipl.inž.fiz.
(EPI SPEKTRUM, d.o.o.)

.....

Žig

Naročnik:

MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
Dunajska cesta 48
1000 Ljubljana

Naročilo:

Pogodba MOP: 2550-16-311020, z dne:
06.09.2016

Strokovna študija

Zvezek: 1/1

Faza: PRED RECENZIJO

Poročilo:

**OCENA EMISIJ HRUPA VETRNIH
ELEKTRARN**

Številka poročila:
Aprojekt 41/2017

Datum:
Junij 2017

Copyright ©

Poročilo je dovoljeno kopirati le v celoti.

Do plačila je dokument last izvajalca.

PODATKI O IZVAJALCIH:



A-PROJEKT, d.o.o.

Vinarje 110B
2000 Maribor
Davčna št: SI 72026740
Matična št: 3386597000

Direktor: mag. Aleš Globevnik, univ.dipl.inž.stroj.
Odgovorna oseba: mag. Aleš Globevnik, univ.dipl.inž.stroj.

Številka pooblastila za meritve hrupa: 35445-3/2014-2, z dne 22.04.2014, velja do: 22.04.2020, izdajatelj: MOP-ARSO,
Številka pooblastila za kartiranje hrupa: 35445-9/2011-2, z dne 19.12.2011, velja do: 31.12.2017, izdajatelj: MOP-ARSO.



ZVD, d.o.o.

Chengdujska cesta 25
1000 Ljubljana
Davčna št: SI 21282692
Matična št: 5055580000

Direktor: Robert Pistotnik
Odgovorna oseba: dr. Ferdinand Deželak, univ.dipl.inž.fiz.

Številka pooblastila za meritve hrupa: 35445-6/2016, velja do: 13.12.2022, izdajatelj: MOP-ARSO,
Številka pooblastila za kartiranje hrupa: 35445-7/2012, velja do: 19.06.2018, izdajatelj: MOP-ARSO.



EPI SPEKTRUM, d.o.o.

Strossmayerjeva ul. 11
2000 Maribor
Davčna št: SI 91816777
Matična št: 1300342000

Direktor: Boštjan Peršak, univ.dipl.inž.fiz.
Odgovorna oseba: Rado Marhold, univ.dipl.inž.fiz.

Številka pooblastila za meritve hrupa: 35445-18/2016-3, z dne 7.12.2016, velja do: 6.12.2022, izdajatelj: MOP-ARSO,
Številka pooblastila za kartiranje hrupa: 35445-10/2011-2, z dne 22.12.2011, velja do: 31.12.2017, izdajatelj: MOP-ARSO.

T TEKSTUALNI DEL:

T.1	UVOD IN OPIS NALOGE	7
T.2	RAZPOLOŽLJIVA DOKUMENTACIJA	9
T.3	ZAKONSKA OSNOVA	9
T.3.1	STOPNJE VARSTVA PRED HRUPOM	10
T.3.2	MEJNE IN KRITIČNE RAVNI HRUPA	11
T.3.3	MEJNE VREDNOSTI ZA PROSTORE OBČUTLJIVE ZA HRUP	12
T.3.4	NORMATIVNE VREDNOSTI V OSTALIH DRŽAVAH ČLANICAH	13
T.3.5	MOŽNE MEJNE FASADNE VREDNOSTI HRUPA DOLOČENE PO STROKOVNI LITERATURI	16
T.3.6	VPLIV HRUPA VETRNH ELEKTRARN NA ZDRAVJE LJUDI	17
T.4	VPLIV OZADJA ZARADI VETROV	18
T.4.1	DOLOČITEV RAVNI HRUPA OZADJA OB MERITVAH HRUPA V DOLENJI VASI	24
T.5	AMPLITUDNA MODULACIJA (AM)	25
T.6	VPLIV STABILNOSTI ATMOSFERE	27
T.7	OCENA EMISIJ HRUPA VETRNH ELEKTRARN	29
T.8	MERITVE HRUPA VETRNH ELEKTRARN V SKLADU S STANDARDOM IEC 61400-11:2002	32
T.8.1	OSNOVNE ZAHTEVE STANDARDA IEC 61400-11	32
T.8.1.1	Merilna oprema	32
T.8.1.2	Določitev merilnih mest	32
T.8.2	IZVEDBA MERITEV PO STANDARDU IEC 61400-11	35
T.8.2.1	Določitev zvočne moči	35
T.8.2.2	Usmerjenost	36
T.8.2.3	Meritve pomožnih količin (veter)	36
T.9	VETRNA ELEKTRARNA VEDV15 PRI DOLENJI VASI	37
T.9.1	OBRATOVALNI PODATKI	38
T.9.2	OBMOČJA VARSTVA PRED HRUPOM	40
T.9.3	OBSTOJEČA OBREMENITEV S HRUPOM	41
T.9.4	VETROVNE RAZMERE NA GRIŠKEM POLJU	42
T.10	VETRNA ELEKTRARNA VEDV15 V DOLENJI VASI PRI SENOŽEČAH – MERITVE HRUPA	46
T.10.1	METEOROLOŠKE RAZMERE V ČASU IZVAJANJA MERITEV VETRNE ELEKTRARNE VEDV15 V DOLENJI VASI	48
T.10.2	IZVEDBA MERITEV HRUPA VETRNE ELEKTRARNE VEDV15 V DOLENJI VASI	50
T.10.2.1	Amplitudna modulacija v času izvajanja meritev hrupa	57
T.10.2.2	Način izvedbe meritev hrupa za določitev vpliva vetra	58
T.10.2.3	Frekvenčna porazdelitev	60
T.10.3	OZKOPASOVNA FREKVENČNA ANALIZA HRUPA (FTT)	62
T.10.4	MERITEV HRUPA NA LOKACIJI, KI JE ZAŠČITENA PRED HRUPOM OZADJA	64
T.11	PRIPOROČILA ZA NADALJNJE DELO	65
T.12	MALE VETRNE ELEKTRARNE	66
T.12.1	MALE VETRNE ELEKTRANE AJDOVŠČINA, DIVAČA	67
T.12.1.1	MVE Ajdovščina	67
T.12.1.2	MVE Bate	68
T.12.2	MALA VETRNA ELEKTRANA POSTOJNA - RAVBARKOMANDA	70
T.12.3	MALA VETRNA ELEKTRANA POSTOJNA – RAZDRTO	71
T.12.4	MALA VETRNA ELEKTRANA DIVAČA	73
T.12.5	MALA VETRNA ELEKTRANA BTC CITY LJUBLJANA	75
T.12.6	MALI VETRNH ELEKTRANI PETROL – KOZINA IN PETROL – POVIR	76
T.12.7	POVZETEK ZA MALE VETRNE ELEKTRANE	76
T.13	MODELIRANJE HRUPA VETRNH ELEKTRARN	77
T.14	ZAKLJUČEK	82

T.14.1	NAPOTKI ZA NADALJNJE DELO.....	82
T.15	VIRI.....	83

T TEKSTUALNI DEL

T.1 UVOD IN OPIS NALOGE

Obnovljivi viri energije postajajo bolj in bolj pomembni, zato so našli tudi svoje mesto v evropski energetski politiki, pri čemer bo v nadaljevanju govora predvsem o vetrnih elektrarnah (op. v nadaljevanju VE). V Sloveniji obstajajo resne ovire pri umeščanju vetrnih elektrarn v prostor, kot npr. upravne ovire v zvezi z dolgotrajnostjo postopkov, družbena nesprejemljivost, finančne ovire, ipd...

Ne pri nas, kot tudi v svetu še ni uveljavljenih standardov za njihovo postavitev v prostor, zraven tega pa tudi niso dovolj natančno poznani vplivi vetrnih elektrarn na ljudi.

Nekatere države članice EU imajo obratovanje vetrnih elektrarn pokrito z zakonodajo, nekatere ne, med slednje spada tudi Slovenija. Znano je, da naj bi obratovanje vetrnih elektrarn povzročalo tudi nizkofrekvenčni hrup, kateri je za večino ljudi bolj ali manj neslišen, povzročal pa naj bi pri ljudeh nelagodje in motnje. Ta vpliv je še dokaj neraziskan, zaradi česar je pri umeščanju vetrnih elektrarn v prostor tudi pogost vir sporov in nasporotovanja lokalnega prebivalstva, kamor se namerava vetrna elektrarna umestiti.

Slovenija razpolaga z manjšim številom vetrnih elektrarn, med katerimi ni zaslediti nobene z močjo večje od 5 MW. Največja je instalirana v Dolenji vasi pri Senožečah, katera je tudi bila predmet podrobnejših meritev in raziskav, rezultati pa so predstavljeni v tem poročilu.

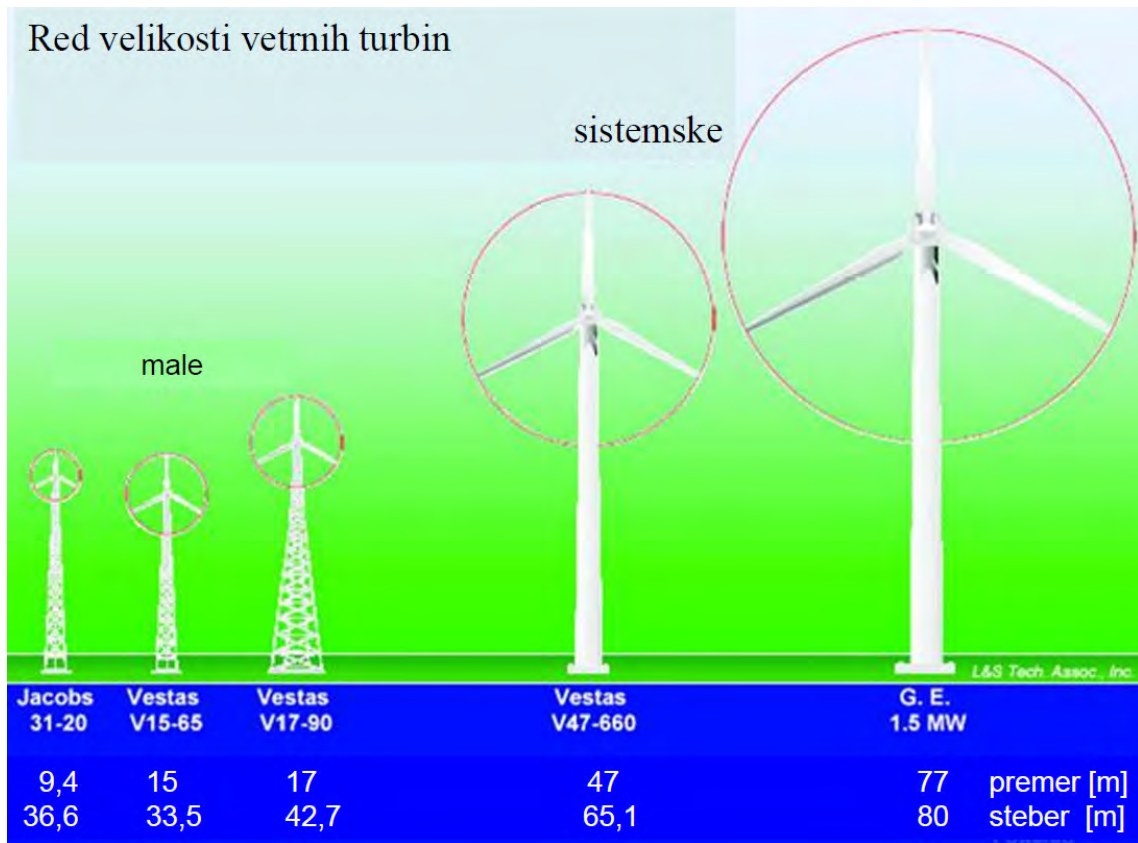
Vpliv vetrnih elektrarn na zdravje ljudi se kaže predvsem kot povečana motnja izpostavljenih prebivalcev, pri čemer se lahko večja vznemirjenost pojavi že pri ekvivalentni vrednosti hrupa VE med 35 in 40 dB(A). Obratovanje vetrnih elektrarn povzroča povečano obremenjenost okolja do razdalje več 100 m, in sicer zaradi emisije:

- aerodinamičnega hrupa v normalnem slišnem območju; ta hrup nastaja ob konicah kril vetrne turbine zaradi njihovega gibanja skozi zračno maso,
- nizkofrekvenčnega hrupa (od 20 do 200 Hz); ta hrup nastaja pri udarjanju kril vetrne turbine ob sloje nestabilnega zraka,
- hrupa v infrazvočnem območju (do 20 Hz); hrup nastaja kot posledica udarjanja kril vetrne turbine v turbulentni tok zraka ob stebru vetrne elektrarne.

Eden poglavitnih vzrokov za povečano obremenitev okolja s hrupom pri obratovanju vetrnih elektrarn je amplitudno moduliran aerodinamični hrup. Amplitudno moduliran hrup nastaja, ko krilo vetrne elektrarne prehaja skozi zrak, kateremu se spreminjata hitrost in smer, v slišnem območju pa je amplitudno moduliran s frekvenco modulacije. Amplitudna modulacija vetrnih elektrarn ima najpomembnejši vpliv med psihoakustičnimi učinki in s tem povezanimi pritožbami izpostavljenih prebivalcev. Za aerodinamičen zvok je značilno "švistanje", ki nastane ob vsakem prehodu krila vetrne turbine; ta hrup in se širi v vseh smereh ter se zmanjšuje z razdaljo na enak način kot običajen hrup. Jakost nizkofrekvenčnega hrupa se večja z večanjem nestabilnosti v plasteh zraka, ki udarja ob vetrno turbino.

Emisija infrazvoka je zelo odvisna od tehnologije vetrne elektrarne, predvsem od oblike vetrnega krila ter razdalje med njimi in nosilnim stebrom turbine. Infrazvok je sicer izven slišnega območja človeškega ušesa, a po oceni vpliva na človeški organizem preko drugih zaznavnih poti. Zaradi daljše valovne dolžine se nizkofrekvenčni hrup in infrazvok širita dlje kot zvok v običajnem slišnem območju, njihovo širjenje teže preprečujemo kot pri zvoku višjih frekvenc. Dodatni hrup povzročajo še mehanske naprave in pogonski elementi v strojnici vetrne elektrarne, predvsem zobniki. Ta hrup je na večjih razdaljah pod nivojem ozadja in pri najbližjih stanovanjskih stavbah večinoma ne vpliva na obremenitev s hrupom.

Glede na red velikosti se vetrne elektrarne delijo na male in sistemske (slika v nadaljevanju).



Slika 1: Red velikosti vetrnih elektrarn (vir: UM FERI Laboratorij za energetiko)

T.2 RAZPOLOŽLJIVA DOKUMENTACIJA

Posebne dokumentacije, razen projektne naloge, naročnik ni predložil.

Za namen izdelave predmetnega poročila je bilo prebrano ogromno literature, člankov, projektov, itd... ki so bili javno dostopni na internetu. Literatura oz. dokumentacija, katero smo pri izdelavi naloge tudi uporabili, je v tekstu poročila citirana. Vsa citirana literatura oz. dokumentacija je sestavni del naloge in priložena v *.pdf formatu.

T.3 ZAKONSKA OSNOVA

Od leta 2006 v Sloveniji velja Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Ur.l. RS 105/05, 34/08, 109/09, 62/10), kot temeljni predpis za področje varovanja okolja pred hrupom. Ta našteva vire hrupa, med katerimi pa vetrne elektrarne niso posebej izpostavljene. Skladno s 3. členom Uredbe, 1. točka, 6. odstavek, 6. alineja je vetrne elektrarne šteti med naprave, ki v okolju povzročajo stalen ali občasen hrup. Ker Uredba za vetrne elektrarne ne predpisuje posebnih mejnih vrednosti, niti za ocenjevanje njihovega hrupa ne podaja posebne metodologije, za vetrne elektrarne veljajo posledično enake mejne vrednosti kot tudi za ostale naprave ali obrate. Mejne vrednosti so v Uredbi podane v obliki mejnih vrednosti kazalcev hrupa L_{dan} , $L_{večer}$, $L_{noč}$ in L_{dvn} glede na posamezna območja varovanja pred hrupom, kot so prikazani v poglavju T.3.2.

Drugi domači predpis je Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah (Ur.l. RS 10/12), ki med drugim obravnava vpliv hrupa v okolju na varovane prostore v stavbah. Količina prenosa okoljskega hrupa v varovane prostore je odvisna od zvočne izolirnosti fasadne konstrukcije. Več o tem v enem kasnejšem poglavju.

Tretji domači predpis je Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur.l. RS št. 105/08). Ta opredeljuje izvajanje obratovalnega monitoringa, zavezanca za izvajanje prvih meritev, periodiko obratovalnega monitoringa, ki je za tovrstne vire hrupa predpisan na tri leta. Pravilnik navaja tudi, da so obratovalni monitoring upravičene izvajati osebe, ki imajo za to pridobljeno pooblastilo pristojnega Ministrstva.

Ministrstvo je z naročilom te naloge potrdilo domnevo, da so vetrne elektrarne specifičen vir hrupa, da torej ne gre za običajne vire hrupa, kot jih obravnava Uredba. Tipična odstopanja glede na preostale vire se pojavljajo v zvezi z njihovimi namestitvami na velikih višinah, občutljivosti izsevanega hrupa glede na meteorološke pogoje (op. predvsem vetrovne razmere), pa tudi v spektralni vsebini izsevanega hrupa in prisotnosti amplitudne modulacije.

Posledično je vrednotenje hrupa vetrnih elektrarn skladno s slovenskimi predpisi vprašljivo. Vprašljivo je tudi izvajanje meritev hrupa po standardu SIST ISO 1996-2, ki je sicer uporaben za večino hrupnih virov v okolju.

Pri izvedbi samih meritev se zato, skladno s svetovno prakso raje naslonimo na standard IEC 61400-11, ki je specifičen in namenjen vrednotenju hrupa prav vetrnih elektrarn. Za namen te naloge se glede samih omejitev, oziroma normativov lahko informativno sklicujemo na omejitve v drugih državah, ki so v tej smeri že razvile določene predpise, kot je na kratko prikazano v nadaljevanju.

Vetrne elektrarne povzročajo sorazmerno nizko raven s filtrom A-uteženega zvočnega tlaka, a so potencialni vir nizkofrekvenčnega hrupa in infrazvoka. Zakonodaja s področja varstva pred hrupom v Sloveniji podaja le mejne vrednosti za s filtrom A uteženo širokopasovno frekvenčno območje; za nizkofrekvenčno in infrazvočno območje pa smernic ni.

Priporočila za urejanje hrupa, ki ga povzroča obratovanje vetrnih elektrarn, so povzete po Stališču o vplivu vetrnih elektrarn za zdravje ljudi (NIJZ, april 2016). Vpliv vetrnih elektrarn na zdravje ljudi se kaže predvsem kot povečana motnja izpostavljenih prebivalcev, pri čemer se lahko večja vznemirjenost pojavi že pri ekvivalentni vrednosti hrupa med 35 in 40 dBA. Hrup vetrnih elektrarn pri enaki ekvivalentni vrednosti povzroča večjo motnjo kot hrup prometa, kar je predvsem povezano z značilno amplitudno modulacijo hrupa; nizkofrekvenčni hrup in infrazvok po oceni ne predstavljata povečanega vpliva na zdravje ljudi. Predpisane mejne vrednosti kazalcev hrupa za vetrne elektrarne naj bi po priporočilu NIJZ bile med 35 in 40 dB(A).

Pri izdelavi izračuna hrupne obremenjenosti je bila upoštevana sledeča zakonodaja:

- Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (Ur.l. RS 121/04),
- Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (Ur.l. RS 105/05, 34/08, 109/09, 62/10), v nadaljevanju Uredba,
- Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur.l. RS 105/08), v nadaljevanju Pravilnik,
- Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah (Ur.l. RS 10/12).

T.3.1 STOPNJE VARSTVA PRED HRUPOM

Stopnje varstva pred hrupom (SVPH) definira 4. člen Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju. SVPH Uredba veže v prvi fazi na namensko rabo prostora in sicer:

- a) **I. stopnja varstva pred hrupom** za vse površine na mirnem območju na prostem, ki potrebujejo povečano varstvo pred hrupom, razen površin na naslednjih območjih (v nadaljnjem besedilu: I. območje varstva pred hrupom):
 - na območju prometne infrastrukture,
 - na območju gozdov na površinah za izvajanje gozdarskih dejavnosti,
 - na območju za potrebe obrambe in izvajanje nalog policije ter
 - na območju za potrebe varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami;
- b) **II. stopnja varstva pred hrupom** za naslednje površine podrobnejše namenske rabe prostora, na katerem ni dopusten noben poseg v okolje, ki je moteč zaradi povzročanja hrupa (v nadaljnjem besedilu: II. območje varstva pred hrupom):
 - na območju stanovanj: stanovanjske površine, stanovanjske površine za posebne namene in površine počitniških hiš,
 - na območju centralnih dejavnosti: površine za zdravstvo v neposredni okolici bolnišnic, zdravilišč in okrevališč,
 - na posebnem območju: površine za turizem;
- c) **III. stopnja varstva pred hrupom** za naslednje površine podrobnejše namenske rabe prostora, na katerih je dopusten poseg v okolje, ki je manj moteč zaradi povzročanja hrupa (v nadaljnjem besedilu: III. območje varstva pred hrupom):
 - na območju stanovanj: površine podeželskega naselja,
 - na območju centralnih dejavnosti: osrednja območja centralnih dejavnosti in druga območja centralnih dejavnosti,
 - na posebnem območju: športni centri,
 - na območju zelenih površin: za vse površine,
 - na površinah razpršene poselitve,
 - na območju voda: vse površine, razen površin vodne infrastrukture in površin na mirnem območju na prostem;
- d) **IV. stopnja varstva pred hrupom** na naslednjih površinah podrobnejše namenske rabe prostora, na katerih ni stavb z varovanimi prostori in je dopusten poseg v okolje, ki je lahko bolj moteč zaradi povzročanja hrupa (v nadaljnjem besedilu: IV. območje varstva pred hrupom):
 - na območju proizvodnih dejavnosti: vse površine,
 - na posebnem območju: površine drugih območij,
 - na območju prometne infrastrukture: vse površine,
 - na območju komunikacijske infrastrukture: vse površine,
 - na območju energetske infrastrukture: vse površine,
 - na območju okoljske infrastrukture: vse površine,
 - na območju za potrebe obrambe in izvajanja nalog policije v naseljih,
 - na območju voda: površine vodne infrastrukture,
 - na območju mineralnih surovin: vse površine,
 - na območju kmetijskih zemljišč: vse površine, razen na mirnem območju na prostem,
 - na območju gozdnih zemljišč: vse površine, razen na mirnem območju na prostem,
 - na območju za potrebe obrambe: vse površine, če hrup ne nastaja zaradi izvajanja nalog pri obrambi države oziroma pri opravljanju nalog varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami,
 - na območju za potrebe izvajanja nalog policije: vse površine, če hrup ne nastaja zaradi izvajanja nalog policije in drugih varnostnih nalog oziroma pri zagotavljanju javnega reda in miru ter varnosti ob naravnih in drugih nesrečah, in
 - na območju za potrebe varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami: vse površine, če hrup ne nastaja zaradi izvajanja nalog pri obrambi države oziroma pri opravljanju nalog varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami.

Zraven navedenega je potrebno pri določanju SVPH upoštevati tudi, da mora biti na meji med I. in IV. SVPH in med II. in IV. SVPH območje s III. SVPH širine 1.000m. Širina tega razmejitvenega območja s III. SVPH pa je lahko ožja, če zaradi naravnih ovir širjenja hrupa ali ukrepov varstva pred hrupom ali zaradi drugih razlogov na območju s I. oz. z II. SVPH niso presežene mejne vrednosti kazalcev hrupa, določene za to območje.

Razmejitev območij z različnimi SVPH je v domeni občine.

T.3.2 MEJNE IN KRITIČNE RAVNI HRUPA

Kot je omenjeno že uvodoma, v slovenski zakonodaji ne poznamo posebnih mejnih vrednosti, ki bi veljale posebej za vetrne elektrarne. Normativne vrednosti katere lahko smiselno apliciramo na obratovanje vetrnih elektrarn so tako:

- kritične mejne vrednosti kazalcev hrupa,
- mejne vrednosti kazalcev hrupa za naprave in
- mejne konične ravni hrupa.

Omenjene normativne vrednosti kazalcev hrupa, glede na SVPH, prikazuje sledeča Tabela 1.

Tabela 1: Mejne, konične in kritične ravni hrupa vrednosti kazalcev hrupa

Območje varstva pred hrupom	Kritične ravni hrupa						
	L _{dan} [dBA]	L _{večer} [dBA]	L _{noč} [dBA]	L _{dvn} [dBA]			
I. območje	/	/	47	57			
II. območje	/	/	53	63			
III. območje	/	/	59	69			
IV. območje	/	/	80	80			
	Mejne ravni hrupa za naprave				Mejne konične ravni hrupa za naprave		
	L _{dan} [dBA]	L _{večer} [dBA]	L _{noč} [dBA]	L _{dvn} [dBA]	L _{1,dan} [dBA]	L _{1,večer} [dBA]	L _{1,noč} [dBA]
I. območje	47	42	37	47	75	60	60
II. območje	52	47	42	52	75	65	65
III. območje	58	53	48	58	85	70	70
IV. območje	73	68	63	73	90	90	90

Opomba: L_{dvn} kot izpeljan kazalec hrupa in se izračuna iz kazalcev L_{dan}, L_{večer} in L_{noč} po sledeči enačbi:

$$L_{dvn} = 10 * \log \left(\frac{1}{24} \cdot [12 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{dan}} + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{večer} + 5)} + 8 \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{noč} + 10)}] \right) \quad (1)$$

pri čemer se kazalci L_{dan}, L_{večer} in L_{noč} določijo skladno s SIST ISO 1996-2 kot dolgoročni povprečki za vse koledarske dni posameznega leta.

Obratovanje vetrne elektrarne pri najbližjih stavbah z varovanimi prostori ne sme presegati:

- mejnih vrednosti kazalcev hrupa za obrat ali napravo za III. območje: 58 dBA za dnevni čas, 53 dBA za večerni čas, 48 dBA za nočni čas in 58 dBA za celodnevno obremenitev L_{DVN},
- mejne konične ravni hrupa za III. območje: 85 dBA za dnevni čas ter 70 dBA za večerni in nočni čas.

Celotna obremenitev s hrupom v skladu s 3. točko 9. člena Uredbe o mejnih vrednosti kazalcev hrupa v okolju ne sme presegati mejnih vrednosti za območje (50 dBA za nočni čas in 60 dBA za celodnevno obremenitev L_{dvn}, vse za III. SVPH).

T.3.3 MEJNE VREDNOSTI ZA PROSTORE OBČUTLJIVE ZA HRUP

Zraven Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju je pri načrtovanju omilitvenih ukrepov upoštevati tudi Pravilnik o zaščiti pred hrupom v stavbah (Ur.l. RS 10/12), iz katerega izhajajo normativne vrednosti, ki veljajo za notranjost varovanih prostorov - Tabela 2.

Mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa $L_{A,eq}$, ki jih v prostorih občutljivih za hrup ne smejo povzročati zunanji viri hrupa, prikazuje tabela v nadaljevanju .

Tabela 2: Mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa $L_{A,eq}$ v prostorih občutljivih za hrup

Namembnost prostora	Mejne vrednosti ekvivalentnih ravni hrupa $L_{A,eq}$ ¹⁾ [dBA]		
	Dan	Večer	Noč ²⁾
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

¹⁾ Mejne ravni hrupa se nanašajo na opremljene prostore in standardno absorpcijo,

²⁾ Ekvivalentna raven hrupa v nočnem času se nanaša na tisto uro, ko je hrup največji.

T.3.4 NORMATIVNE VREDNOSTI V OSTALIH DRŽAVAH ČLANICAH

Tabela v nadaljevanju podaja normativne vrednosti v nekaterih evropskih državah glede hrupa vernih elektrarn [6,33].

Tabela 3: Normativne vrednosti za veterne elektrarne v državah članicah EU

Zap. št.	Država	Razdalja [m]	Kazalec hrupa	Podeželje		Poselitveno območje		Poselitveno območje v bližini industrijskega območja	
				Dan [dBA]	Noč [dBA]	Dan [dBA]	Noč [dBA]	Dan [dBA]	Noč [dBA]
1.	Belgija (Flandrija)	6B ¹⁾	L _{Aeq}	48	43	44	39	44	39
2.	Belgija (Valonija)	3H ²⁾	L _{Aeq}	45	45	45	45	45	45
3.	Danska	4H ²⁾	L _{Aeq} (zunaj) L _{Aeq,LF} (noter)	42 – 44 25	42 – 44 20	37 – 39 25	37 – 39 20	37 – 39 25	37 – 39 20
4.	Francija	/	L _{Aeq}	35	35	35	35	35	35
5.	Nemčija	/	L _{Aeq}	50	35	50	35	55	40
6.	Irska	/	L _{Aeq}	40	40	40	40	40	40
7.	Italija	/	L _{Aeq}	50	40	55	45	60	50
8.	Norveška	/	L _{dvn}	45	45	45	45	45	45
9.	Švedska	/	L _{Aeq} pri 8m/s	35	35	40	40	40	40
10.	Švica	/	L _{Aeq}	50	40	50	40	50	40
11.	Nizozemska	/	L _{dvn} L _{noč}	47 41	47 41	47 41	47 41	47 41	47 41
12.	Velika Britanija	/	L _{A90,10min}	40	43	40	43	40	43

1) H = višina; skupna višina vetrnice (steber + elise),

2) B = dolžina lopatice

V tabeli navedene strožje omejitve so zasnovane na več študijah, ki kažejo, da sodi hrup vetrnih elektrarn v kategorijo motečih hrupnih virov, ki je celo bolj moteča od letalskega hrupa, kateri je od infrastrukturnih virov hrupa najbolj moteč.

V literaturi [21] je objavljen odziv (op. motnja, vznemirjenje na prostem) na hrupa vetrnih elektrarn, zasnovano po enačbi:

$$\%HA = -97,94 + 9,627 \cdot L_{dvn} - 0,3175 \cdot L_{dvn}^2 + 0,003522 \cdot L_{dvn}^3 \quad (2)$$

pri čemer je: HA – odstotek ljudi, močno vznemirjenih s hrupom vetrnih elektrarn, L_{dvn} – kazalec celodnevnega hrupa, kot posledica obratovanja vetrne elektrarne.

Podobne enačbe za oceno motnje, vznemirjenosti na prostem obstajajo tudi za ceste, železnice in letala. Prikazane so spodaj, povzete so po literaturi [42].

Hrup cestnega prometa:

$$\%HA = 9,868 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{dvn} - 42)^3 - 1,436 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{dvn} - 42)^2 + 0,5118 \cdot (L_{dvn} - 42) \quad (3)$$

$$\%A = 1,795 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{dvn} - 37)^3 + 2,110 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{dvn} - 37)^2 + 0,5353 \cdot (L_{dvn} - 37) \quad (4)$$

Hrup železniškega prometa:

$$\%HA = 7,239 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{dvn} - 42)^3 - 7,851 \cdot 10^{-3} \cdot (L_{dvn} - 42)^2 + 0,1695 \cdot (L_{dvn} - 42) \quad (5)$$

$$\%A = 4,538 \cdot 10^{-4} \cdot (L_{dvn} - 37)^3 + 9,482 \cdot 10^{-3} \cdot (L_{dvn} - 37)^2 + 0,2129 \cdot (L_{dvn} - 37) \quad (6)$$

Hrup letalskega prometa:

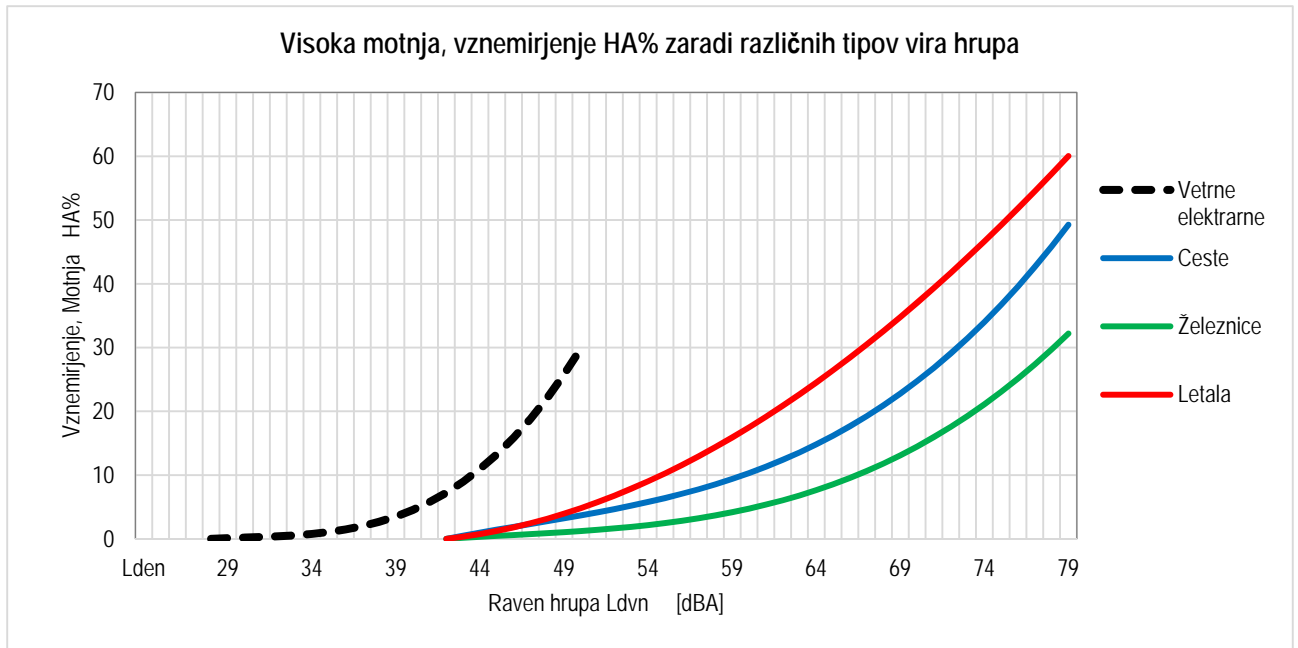
$$\%HA = -9,199 \cdot 10^{-5} \cdot (L_{dvn} - 42)^3 + 3,932 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{dvn} - 42)^2 + 0,2939 \cdot (L_{dvn} - 42) \quad (7)$$

$$\%A = 8,588 \cdot 10^{-6} \cdot (L_{dvn} - 37)^3 + 1,777 \cdot 10^{-2} \cdot (L_{dvn} - 37)^2 + 1,221 \cdot (L_{dvn} - 37) \quad (8)$$

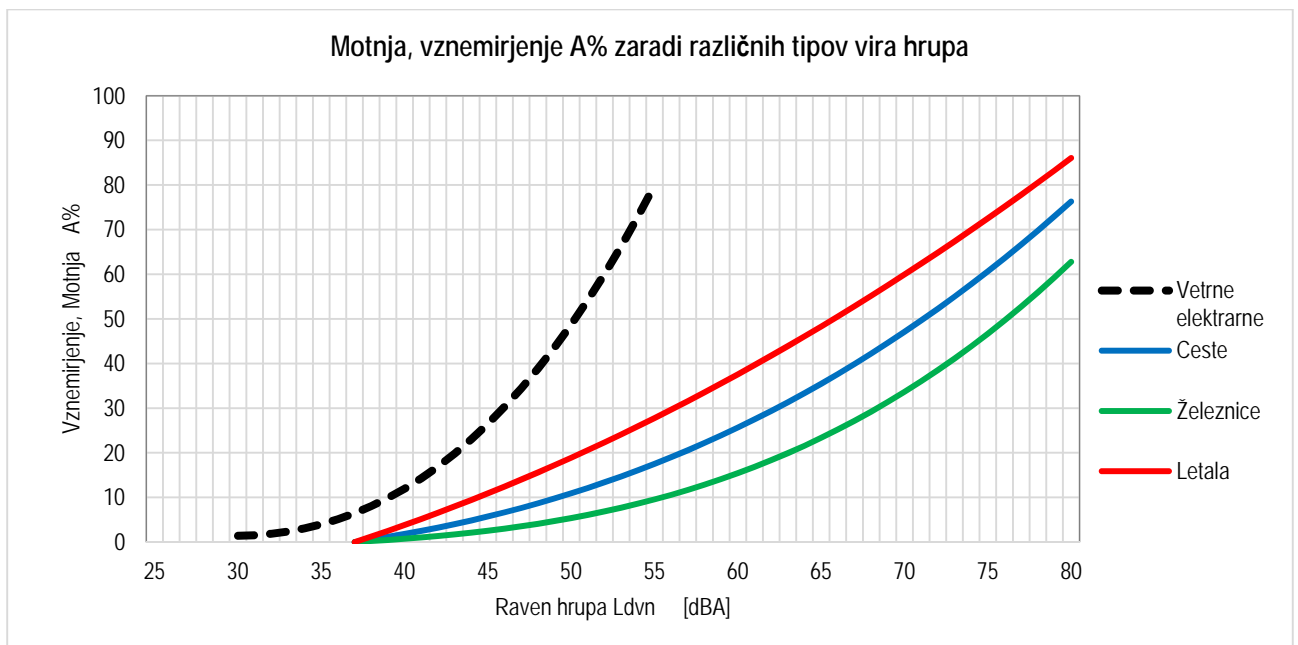
Na spodnji slikah je prikazano na grafičen način odzivnost (motnja, vznemirjenje) glede na raven zunanjega hrupa, ki jo povzročajo različni viri hrupa. Videti je, da isto motnjo povzroči hrup vetrnih elektrarn že pri bistveno nižjih ravneh hrupa.

Tako si po "nadležnosti" sledijo (op. od nižje do višje) naslednje skupine virov:

- železniški hrup (najmanj moteč),
- cestni hrup (občasno nizkofrekvenčni hrup, ponoči bistveno nižji kot podnevi),
- letalski hrup (nizkofrekvenčni hrup, močno moteč),
- vetrne elektrarne (nizkofrekvenčni hrup, amplitudno modulirani, izrazit ponoči - najbolj moteč).



Slika 2: Močan odziv na prejeto dozo hrupa za različne vire hrupa [42]



Slika 3: Odzivi na prejeto dozo hrupa za različne vire hrupa [42]

T.3.5 MOŽNE MEJNE FASADNE VREDNOSTI HRUPA DOLOČENE PO STROKOVNI LITERATURI

V strokovni literaturi [10, 15, 17] večkrat omenjena mejna vrednost se nanaša na raven hrupa znotraj varovanih prostorov. Večinoma gre za raven hrupa znotraj spalnih prostorov v nočnem času in sicer za primer deloma odprtih oken, kar naj bi zagotavljalo zadostno izmenjavo svežega zraka. Razlika v hrupnih nivojih, enkrat na fasadi, drugič znotraj objekta, pri deloma odprtem oknu, je glede na strokovno literaturo različna. Razlika se giblje med 10 ÷ 15 dBA [17, 38]. Merodajna mejna fasadna raven zaradi obratovanja vetrnih elektrarn se lahko izpelje kot:

$$L_{dop,noč} = L_{A90} + 2,2 \text{ dBA} + D_{AM} = SD + \Delta L + D_{AM} \quad (9)$$

pri čemer je: $L_{dop,noč}$ – mejna hrupa v okolju za prosto zvočno polje (Free Field), D_{AM} – merilo za amplitudno modulacijo, ki znaša cca 2 ÷ 3 dBA, 2,2 dBA – razlika med L_{Aeq} in L_{A90} [1], SD – motnja spanca (Sleep Disturbance), določena po strokovni literaturi kot 35 dBA, ΔL – razlika med zunanjo fasadno ravno hrupa in ravno hrupa v bivalnem prostoru pri deloma odprtem oknu, cca 10 ÷ 15 dBA.

Upoštevajoč previdnostno načelo dobimo:

$$L_{dop,noč} = 35 + 10 + 2 = 47 \text{ dBA}$$

Tabela 4: Delež noči v obdobju April - November glede na odprtost okna v času spanja

Pozicija okna	% noči
Zaprto	25
Rahlo odprto	43
Deloma odprto	23
Pol odprto	5
Polno odprto	4

Vir: WHO [17]

Država raziskave glede odprtosti oken v času spanja, ki jo navaja vir [17] sicer ni navedena, kljub temu pa je mogoče zaključiti, da večina ljudi v kolikor ima te možnosti spi pri odprtih oknih, predvsem zaradi zagotavljanja svežega zraka. To se tudi približno ujema s stanjem v Sloveniji, kar je bilo obdelano v literaturi [38].

T.3.6 VPLIV HRUPA VETRNIH ELEKTRARN NA ZDRAVJE LJUDI

Vpliv hrupa vetrnih elektrarn na zdravje ljudi je povzet po Stališču o vplivu vetrnih elektrarn za zdravje ljudi (NIJZ, april 2016), ki vključuje tudi doslej najboljšežnejšo epidemiološko študijo vpliva okoljskega hrupa na zdravje ljudi (Community Noise and Health Study), ki je bila izvedena leta 2013 v Kanadi pod okriljem ustanove Health Canada. Značilnosti in posebnosti hrupa vetrnih elektrarn so predvsem naslednje:

- prisotnost širokega spektra zvočnih frekvenc,
- nivo zvočnega tlaka zelo niha, odvisno od razdalje, hitrosti vetra in širjenja v prostoru,
- prisotnost nizkofrekvenčnega hrupa in infrazvoka,
- amplitudno moduliran hrup,
- emisija zvoka se povečuje z večjo hitrostjo vetra na višini rotorja, dokler vetrnica ne doseže maksimalne delovne moči.

Glavne ugotovitve glede vplivov hrupa vetrnih elektrarn na zdravje ljudi so naslednje:

- je trenutno dovolj dokazov za vzpostavitev vzročne povezave med izpostavljenostjo hrupu vetrnih elektrarn in vznemirjenostjo,
- so trenutni dokazi o vzročni povezanosti med izpostavljenostjo hrupu vetrne elektrarne in motnjami spanja omejeni,
- so trenutni dokazi o vzročni povezanosti med izpostavljenostjo hrupu vetrne elektrarne in stresom pomanjkljivi, je pa učinek lahko posreden, preko vznemirjenosti,
- ni dokazov o vzročni povezanosti med izpostavljenostjo hrupu vetrne elektrarne in izgubo sluha,
- so sedanji dokazi pomanjkljivi, da bi dokazali vzročno povezavo med izpostavljenostjo hrupu vetrnih elektrarn in drugimi zdravstvenimi stanji oziroma simptomi (srčno-žilne bolezni, utrujenost, glavobol, slabost, diabetes, tesnoba, depresija, razdražljivost, ...);

Vpliv vetrnih elektrarn na zdravje ljudi se kaže predvsem kot povečana vznemirjenost zaradi hrupa, ki pa je odvisna tudi od drugih parametrov. Najnovejše študije kažejo, da hrup sodobnih vetrnih elektrarn ne vsebuje deležev nizkofrekvenčnega zvoka, ki bi lahko predstavljal resno grožnjo zdravju ljudi, ravni infrazvoka pa ne presegajo vrednosti iz ozdaja. Hrup vetrnih elektrarn pa pri enaki ekvivalentni ravni povzroča večjo vznemirjenost kot ostali vir hrupa (promet, industrija...), kar je posledica predvsem amplitudno moduliranega hrupa.

Vprašljiva je tudi ocena hrupa vetrnih elektrarn z A-uteženo meritvijo zaradi prisotnosti nizkofrekvenčnega zvoka, vendar na osnovi trenutno razpoložljivih študij vzrok povečane vznemirjenosti ni nizkofrekvenčni zvok in je izvedba meritev hrupa z A-filtrrom zadostna.

T.4 VPLIV OZADJA ZARADI VETROV

Hrup ozadja pri vrednotenju vpliva vetrnih elektrarn v bivalnem okolju je bistvenega pomena.

Namreč, vetrne elektrarne imajo svoj optimum obratovanja pri hitrostih nad 8 m/s, to pa so takšne hitrosti vetra, ki že same po sebi povzročajo v okolju dokaj visoke ravni hrupa.

SIST ISO 1996-2:2007 namreč za ugodne vetrovne razmere v času meritev hrupa šteje hitrosti med 2 m/sek in 5 m/sek na višini med 3m in 11m. Nad temi hitrostmi pa se začne pojavljati hrup zaradi vetra, ki ima na rezultate pomemben vpliv. Ocenjevanje hrupa vetrnih elektrarn torej zapade v območje hitrosti vetra > 5 m/sek, kjer je vpliv vetra potrebno vsekakor upoštevati.

Tako hrup vetrne elektrarne kot raven ozadja sta odvisna od hitrosti vetra. Ali bo zvočni tok vetrne elektrarne presegal zvočni tlak ozadja, je odvisno od tega, kako se vsak izmed njih spreminja s hitrostjo vetra.

Običajno so vetrne elektrarne instalirane na izpostavljenih mestih, zraven tega so visoke tudi do 100m in več, kjer vetrovni tok ni moten zaradi drugih motilnih elementov (op. teren, objekti, ipd...). Drugače je z mesti ocenjevanja v okolici teh vetrnih elektrarn. Stavbe z varovanimi prostori so lahko umeščene prav tako na izpostavljenih točkah, lahko pa so umeščene v naravne kotanje, doline, ipd... Prav tako se dostikrat v okolici mest ocenjevanja pri stavbah z varovanimi prostori nahajajo elementi kot so: druge stavbe, drevesa, ipd... ki imajo vpliv na vetrovni tok.

Najbolj pogosti viri z vetrom povzročene hrupa so vzajemno delovanje vetra in vegetacije, na skupno obremenitev s hrupom pa vpliva veliko dejavnikov. Skupni vpliv je bolj odvisen od velikosti površine obrnjene proti vetru, kot pa od gostote listja. Zvok listnatih dreves naj bi bil tudi rahlo nižji in bolj širokopasoven kot pri iglavcih, ki povzročajo bolj specifične zvočne frekvence. Ustrezen A-utežen širokopasoven nivo zvoka, ki nastane zaradi vetra pri listju, se kaže kot sorazmeren osnovi 10 logaritma hitrosti vetra [24].

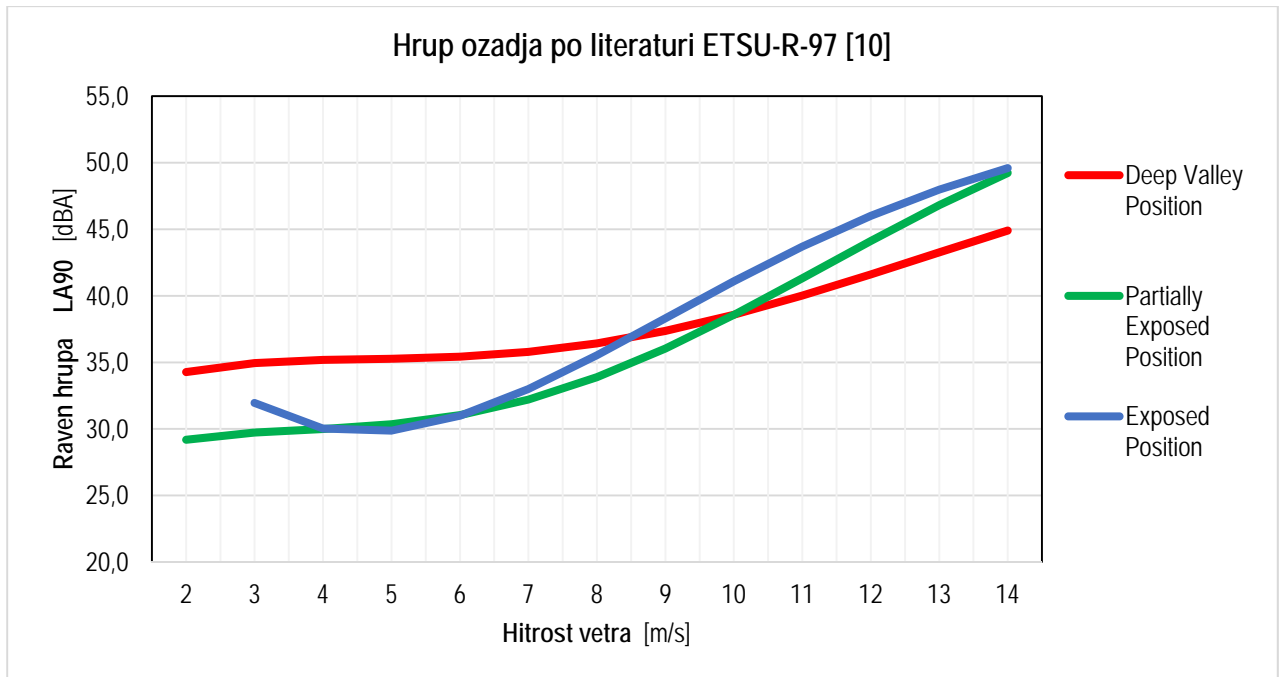
Raven hrupa velikih modernih vetrnih elektrarn med konstantnim delovanjem z naraščajočo hitrostjo vetra narašča počasneje kot hrup okolja, ki ga povzroča veter. Zaradi tega je hrup vetrne elektrarne po navadi prevladujoč pri nizkih hitrostih vetra in ga je pogosto težko izmeriti pri hitrosti vetra nad 8 m/s [24].

Zaradi navedenih dejstev, strokovna literatura [10] loči tri (3) karakteristične poteke hrupa ozadja, kot posledica vetra pri različnih hitrostih:

- Deep Valley Positin – Mesto ocenjevanja v večji kotanji,
- Partially Exposed Position – Deloma izpostavljeno mesto ocenjevanja,
- Exposed Position – Izpostavljeno mesto ocenjevanja.

Na grafični način prikazan hrup odvisen od hitrosti vetra prikazuje slika v nadaljevanju. Vsekakor je potrebno omeniti, da v strokovni literaturi obstaja še precej predlogov, kako hrup vetra določiti glede na njegovo hitrost, npr. [14].

Navedeno nakazuje torej na dejstvo, da je pri umeščanju novih vetrnic v prostor potrebno za lokacije, kjer se pričakuje morebiten vpliv vetrne elektrarne konkretno določiti hrup ozadja na način, da se hrup vetra (ozadja) izmeri za vse hitrostne razrede v katerih namerava obratovati vetrnica. To pomeni večdnevne meritve hrupa ob sočasnem merjenju hitrosti vetra. Zgolj na ta način je mogoče za konkretno situacijo določiti hrup ozadja, v nasprotnem primeru je ocenjevanje ozadja bolj ali manj dober približek.



Slika 4: Potek odvisnosti hrupa ozadja (veter) glede na hitrost vetra in na izpostavljenost mesta ocenjevanja

Za potrebe te študije so bile izvedene tudi kontrolne meritve hrupa ozadja z namenom preveritve uporabnosti literature [14]. Iskala se je lokacija, kjer bi bila razpoložljiva umerjena meteorološka postaja z zadosti pogostim odčitavanjem vetrovnih razmer, pri čemer bi v njeni bližini bilo čim manj motilnih elementov.

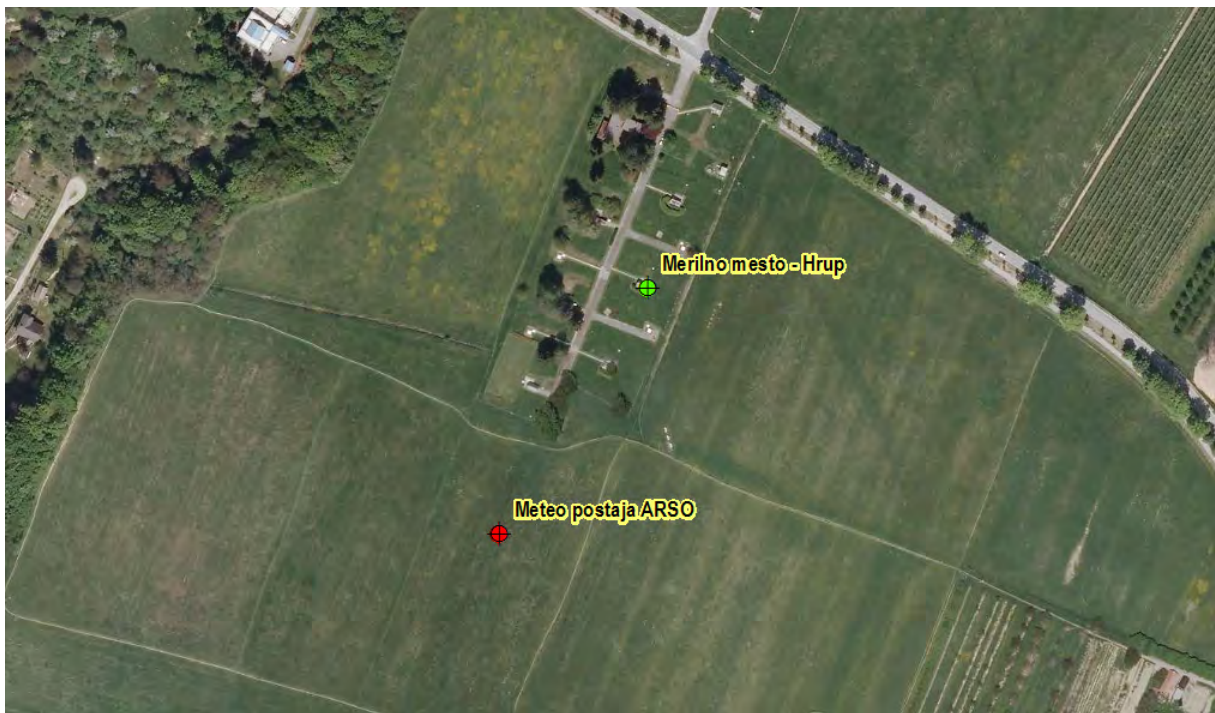
Odločili smo se za meteorološko postajo v upravljanju ARSO-a, locirane na Urbanskem platju v Mariboru (GK_Y,X: 548.366, 158.386). Meteorološka postaja je locirana na ravnem terenu sredi travnika. Motilni element v bližini je lokalna cesta Maribor – Kamnica, ki je oddaljena cca 280m. V bližini so tudi črpališča vode v upravljanju Mariborskega vodovoda, vendar ta dejavnost v okolje ne emitira nobenega hrupa. Omembe vredni viri hrupa pa so dokaj visoka osamela drevesa, katerih šumenje predstavlja dokaj visoko raven hrupa. Najbližje drevo je od meteorološke postaje oddaljeno zgolj 60m.

Pri iskanju optimalne lokacije za postavitve merilnega mesta za hrup, pri čemer je pomembno vlogo igralo tudi dejstvo, da bi merilno mesto bilo izza ograje Mariborskega Vodovoda zaradi varnosti merilnega instrumentarija pred naključnimi mimoidočimi sprehajalci, katerih na lokaciji ne manjka, smo se odločili za točko GK_Y,X,Z: 548.448, 158.522, 5. Merilno mesto, kjer so se izvajale meritve hrupa je bilo od bližnje ceste oddaljeno 120m, od najbližjih dreves pa 45 – 50m.

Umestitev meteorološke postaje ter merilnega mesta, kjer so se izvajale meritve hrupa vetra je podana na slikah v nadaljevanju.



Slika 5: Lokacija meteorološke postaje ARSO in lokacija meritev hrupa ozadja v Mariboru – širši prikaz, M 1:10.000



Slika 6: Lokacija meteorološke postaje ARSO in lokacija meritev hrupa ozadja v Mariboru, M 1:2.500

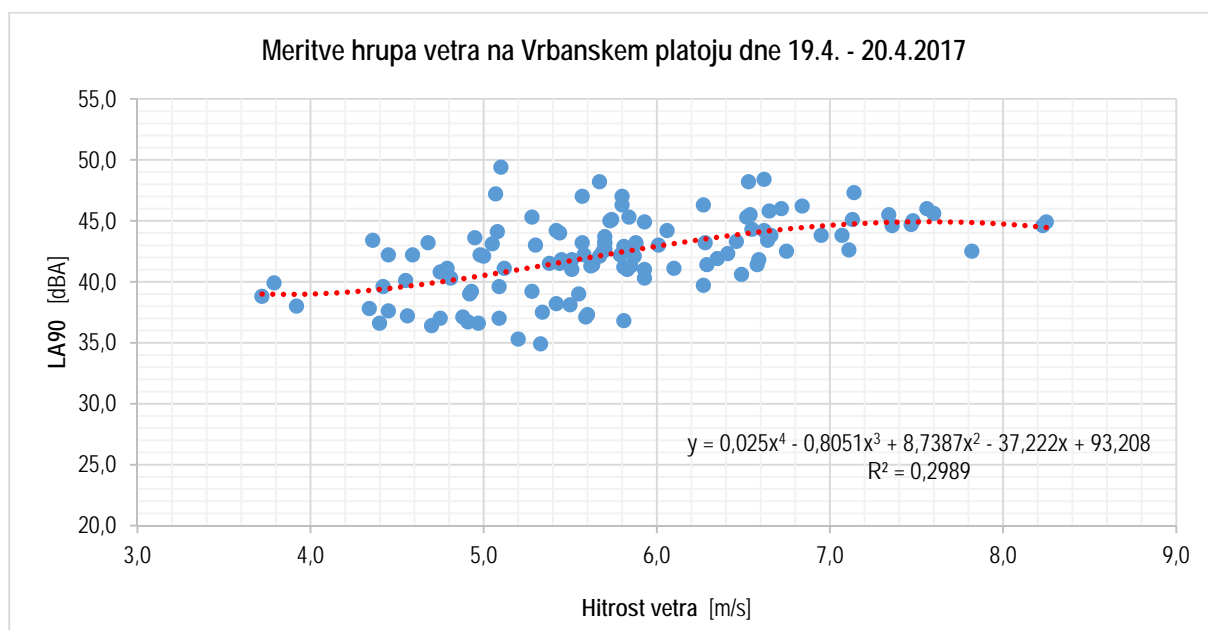


Slika 7: Pogled na meteorološko postajo ARSO na Vrbanskem platoju



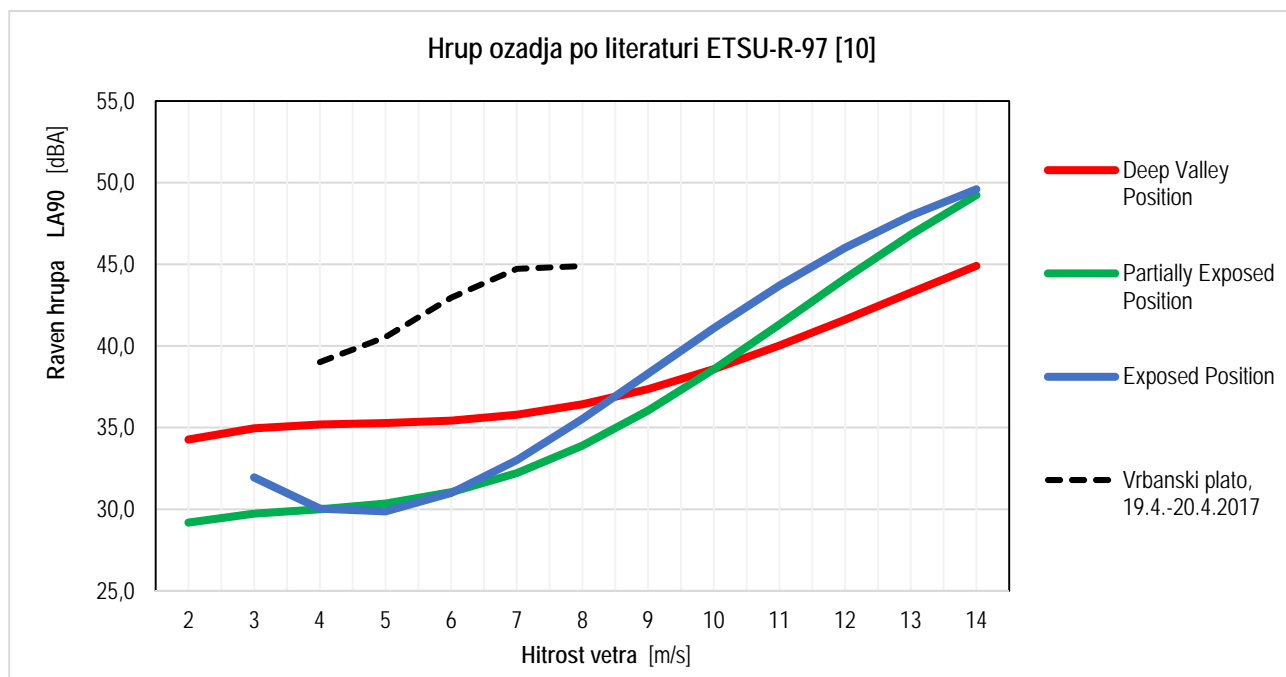
Slika 8: Pogled na merilno mesto za hrup na Vrbanskem platoju

Slika v nadaljevanju prikazuje raztros meritev hrupa v odvisnosti od hitrostjo vetra. Dodatno je na grafu prikazana ekstrapolacijska krivulja, ki na najboljši možni način na matematični način poda ravni hrupa v odvisnosti od hitrosti vetra za dano situacijo.



Slika 9: Rezultati meritev hrupa na Vrbanskem platoju glede na hitrost vetra

Slika v nadaljevanju prikazuje potek hrupa LA_{90} v odvisnosti od hitrosti vetra na Vrbanskem platoju v času izvajanja meritev hrupa, primerjalno glede na priporočila literature [14]



Slika 10: Primerjava dejansko izmerjenega hrupa vetra na Vrbanskem platoju s priporočili po literaturi [10]

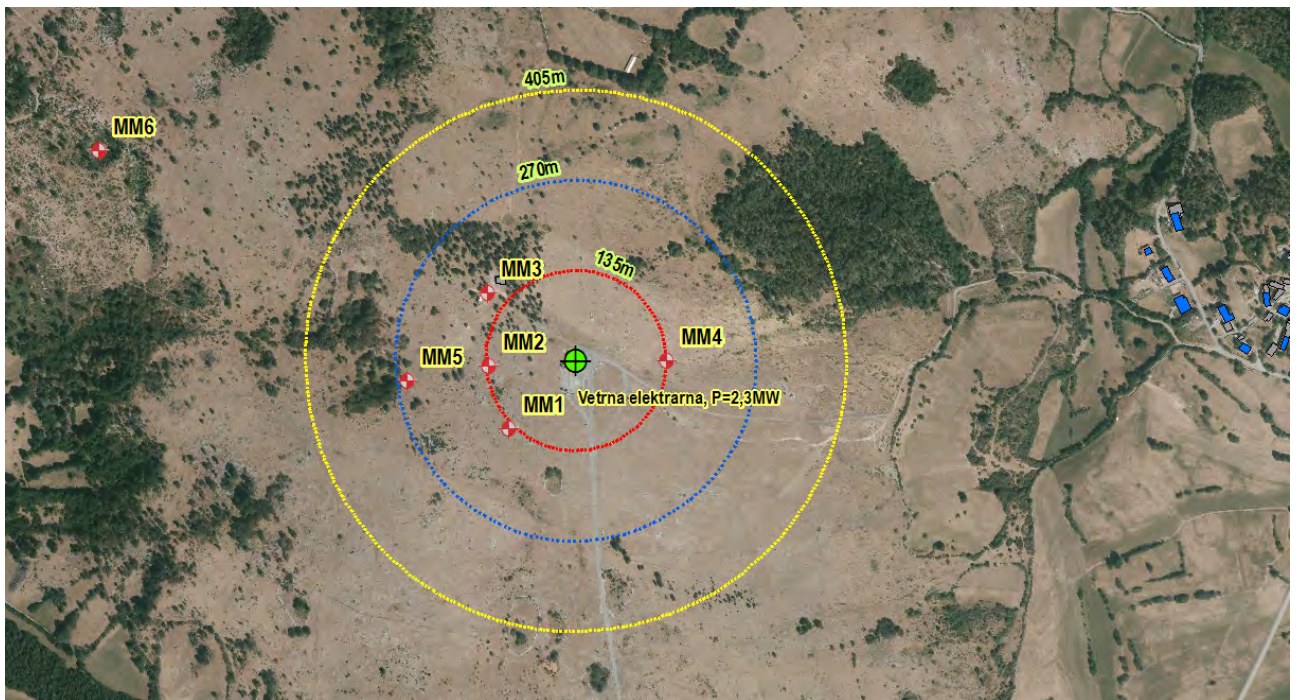
Iz primerjave rezultatov je razvidno, da smo na Vrbanskem platoju v Mariboru izmerili 5 – 10 dBA višje ravni hrupa, kot jih predvideva literatura [10,14]. To razliko je mogoče pripisati dejstvu, da je glavni vir hrupa na Vrbanskem platoju bilo šumenje bližnjih dreves, hrup ceste ni bil toliko izrazit, sploh v nočnem času je promet po cesti Maribor – Kamnica zanemarljiv, zraven tega smo ga iz posnetega hrupnega vzorca tudi izločili. V literaturi [10,14] namreč ni nikjer omenjeno pod kakšnimi pogoji so bile meritve ozadja (op. hrup vetra) izvedene, kaj so bili dodatni viri hrupa, ipd... Posledično menimo, da primerjava zgornjih rezultatov potrjuje že omenjeno tezo, da je potrebno za konkretne lokacije, določiti hrup ozadja posebej na osnovi dolgotrajnejših meritev hrupa ob sočasnem spremljanju vetrovnih razmer, saj bližina dreves, gozda, ceste, ipd... ustvari specifično sliko, ki se lahko precej razlikuje od priporočil strokovne literature.

Višje kot so ravni ozadja (op. hrup vetra, ipd...), višja je tudi stopnja maskiranja samega hrupa. Hrup vetra namreč maskira hrup vetrnice na način, da zaradi dominantnosti ozadja vetrnice na določeni razdalji niso več slišne. Ta razdalja pa ni konstantna, saj se zaradi meteoroloških pogojev (op. smer vetra, hitrost vetra, temperaturni gradient, ipd...) lahko spreminja. Koliko lahko to variira je namen določiti v tej nalogi.

T.4.1 DOLOČITEV RAVNI HRUPA OZADJA OB MERITVAH HRUPA V DOLENJI VASI

Za ugotovitev vpliva zgolj hrupa vetrne elektrarne si je pri meritvah potrebno prizadevati, da se meritve opravijo v pogojih, ko bi bil nivo ozadja bistveno manjši od vetrne elektrarne v času obratovanja, oziroma da bi ta vpliv bilo možno izločiti s pomočjo naknadne analize. Navedeno v popolnosti ni izvedljivo, ker je hrup ozadja zaradi vetra nenehno prisoten in to ostaja realen problem pri tovrstnih meritvah hrupa. Vetrne elektrane v Dolenji vasi v času meritev hrupa upravljavec ni izklapljal, zato sta bili v ta namen razviti dve metodi, dodatno pa so bile izvedene meritve hrupa na naravno zavarovani lokaciji (vrtači), kjer je bil vpliv vetra minimiziran, hrup vetrne elektrarne pa zaznaven.

Po eni metodi je bil hrup istočano merjen na dveh lokacijah v isti smeri vetra s približno enakim ozadjem in ki sta od vetrne elektrarne oddaljeni v razmerju približno 1:2. Ti točki sta označeni z oznako MM2 in MM5 (glej spodnjo sliko).



Slika 11: Prikaz lokacij merilnih točk MM2 in MM5, kateri smo uporabili za določitev ravni hrupa ozadja

Čisti vpliv obratovanja vetrne elektrarne na ta način ocenimo na točkah MM2 in MM5 kot:

$$L_{p_2}(v) = 10 \log \frac{10^{L_{p_2}(v+o)/10} - 10^{L_{p_5}(v+o)/10}}{1 - \left(\frac{r_2}{r_5}\right)^2} \quad (10)$$

$$L_{p_5}(v) = L_{p_2}(v) - 10 \log \left(\frac{r_5}{r_2}\right)^2 \quad (11)$$

pri čemer je:

- $L_{p_2}(v)$ – raven hrupa samo vetrne elektrarne na točki "2", pri dani hitrosti vetra "v",
- $L_{p_5}(v)$ – raven hrupa samo vetrne elektrarne na točki "5", pri dani hitrosti vetra "v",
- $L_{p_2}(v+o)$ – skupna raven hrupa vetrne elektrarne in ozadja na točki "2", pri dani hitrosti vetra "v",
- $L_{p_5}(v+o)$ – samo raven hrupa vetrne elektrarne in ozadja na točki "5", pri dani hitrosti vetra "v",
- r_2 – oddaljenost točke "2" od vetrne elektrarne,
- r_5 – oddaljenost točke "5" od vetrne elektrarne.

T.5 AMPLITUDNA MODULACIJA (AM)

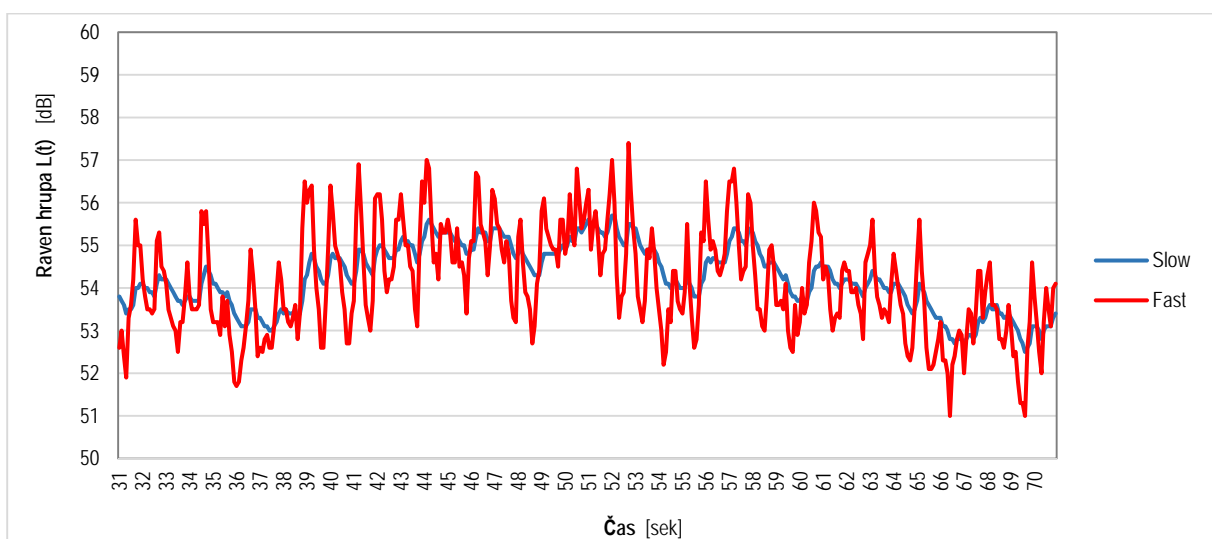
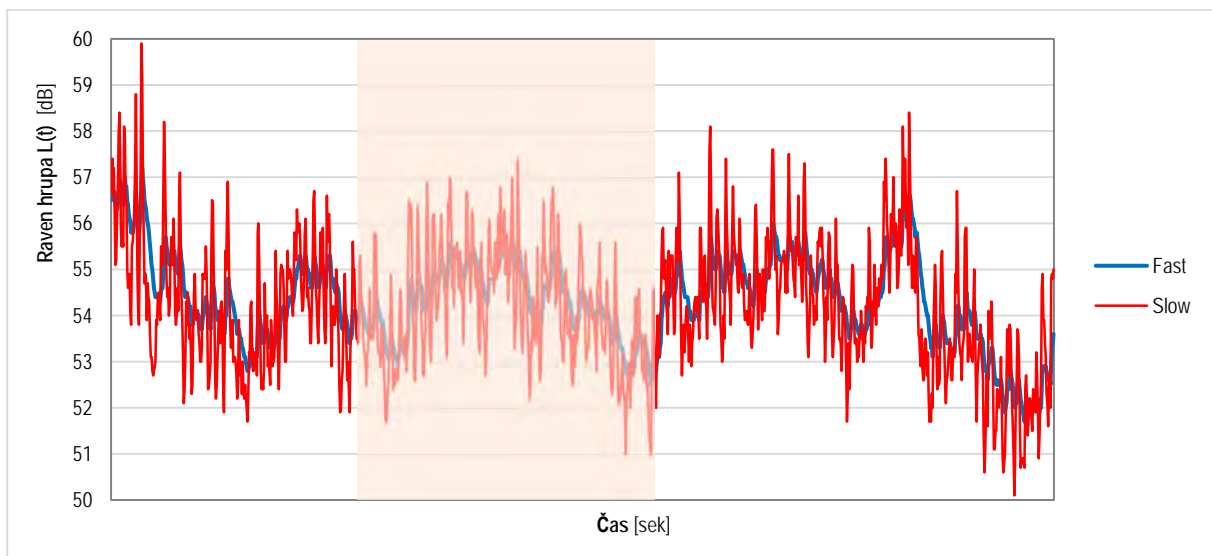
Eden izmed pomembnih motilnih elementov pri vetrnih elektrarnah je amplitudna modulacija in ima najpomembnejši vpliv med psihoakustičnimi učinki in s tem povezanimi pritožbami izpostavljenih prebivalcev. Ta je še posebej izrazita, bližje kot je mesto ocenjevanja vetrni elektrarni. Z oddaljenostjo vpliv amplitudne modulacije pojenja, tudi zato ker ga maskira hrup ozadja.

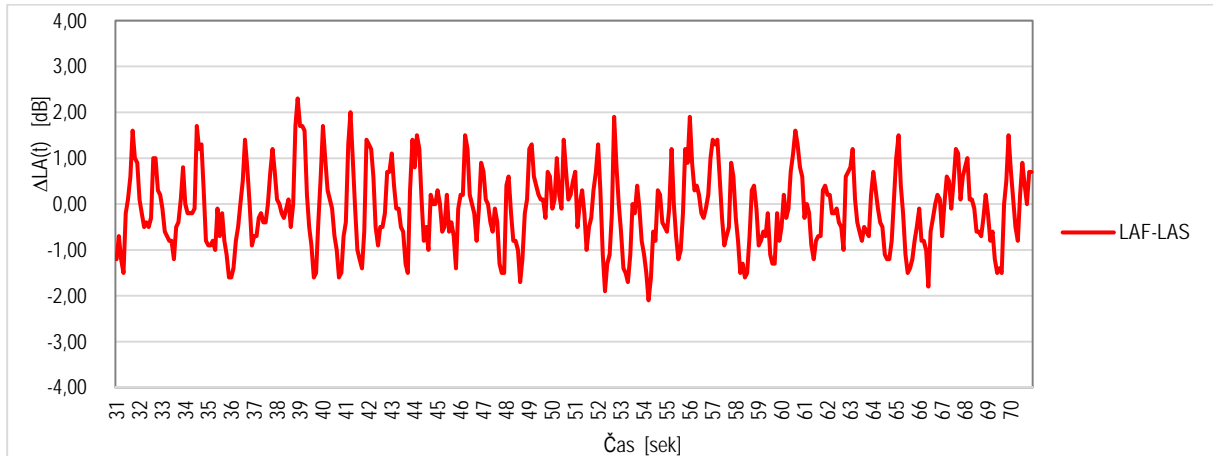
Mehanizem, kako pride do pojava amplitudne modulacije je opisan v nadaljevanju. Med rotacijo turbinskih lopatic se namreč ustvarja periodični amplitudno moduliran signal, ki ne odstopa bistveno od sinusne oblike.

Za oceno amplitudne modulacije je uporabljena statistična metoda povzeta po strokovni literaturi [1], na način, da se je istočasno spremljal časovno se spreminjajoča raven zvočnega tlaka, izmerjena z dinamiko hitro (F) in počasi (S), tekem nekaj minut.

Vpliv amplitudne modulacije je odvisen od lege rotacijske ravnine lopatic vetrne elektrarne napram smeri opazovanja. Amplitudna modulacija vetrnih elektrarn

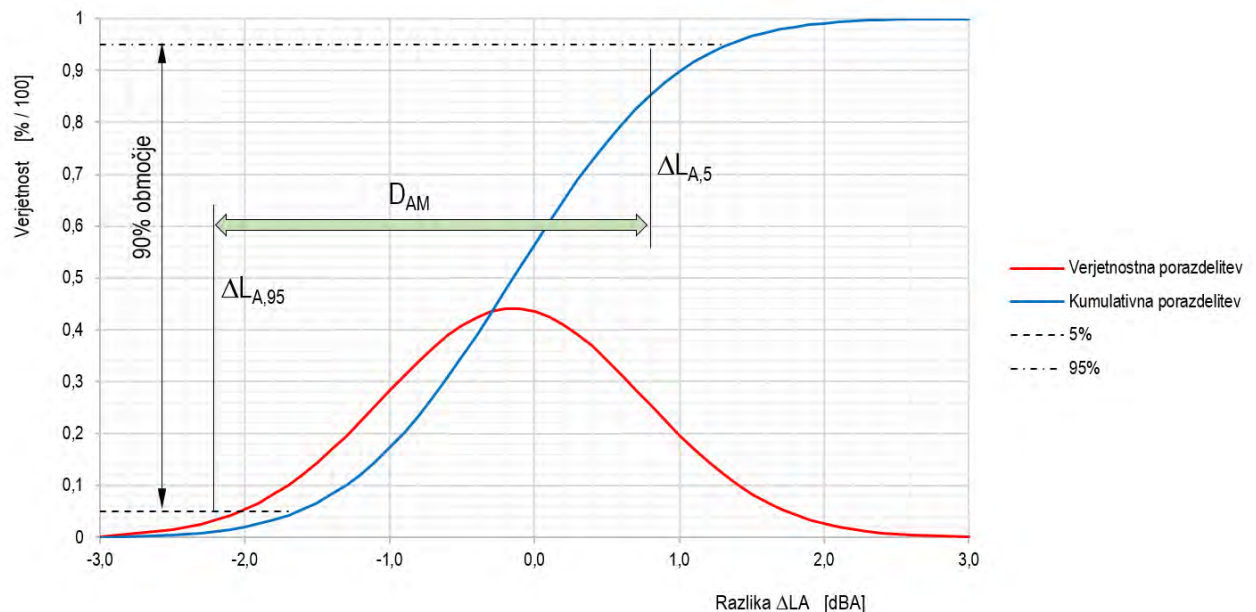
Določitev amplitudne modulacije (AM) je povzeta po strokovnem članku [1]. Pri AM gre dejansko za periodično spreminjajoč se zvok zaradi vrtenja vetrnih lopatic. V življenjskem okolju je njegovo glavno frekvenčno območje med 400 ÷ 1.000 Hz [2]. Slike v nadaljevanju prikazujejo del časovnega signala, ki je bil posnet pri meritvah veterne elektrarne v Dolenji vasi in prikazuje potek zvočnega tlaka, enkrat posnetega s karakteristiko "Fast" in drugi s karakteristiko "Slow".





Slika 12: Primer A-uteženega SPL, enkrat izmerjenega z dinamiko Fast in drugič izmerjenega z dinamiko Slow

Slika v nadaljevanju na grafičen način prikazuje osnovne parametre za določitev amplitudne modulacije, povzeto po [1].



Slika 13: Grafičen prikaz osnovnih parametrov amplitudne modulacije

Izmerjena vrednost niha v odvisnosti od časa, zato je potrebno, da se določi ustrezna metoda, s katero se bo dalo z ustrezno zanesljivostjo določiti AM skozi daljše časovno obdobje.

Enostavna, vendar učinkovita metoda je ugotavljanje razlike med A-uteženo ravno SPL s karakteristiko "Fast" in A-uteženo ravno SPL s karakteristiko "Slow". Enačba je sledeča:

$$\Delta L_A(t) = L_{AF}(t) - L_{FS}(t) \quad (12)$$

Širina pasu med ΔL_{A5} in ΔL_{A95} izražena v dB predstavlja merilo za amplitudno modulacijo (AM), izračuna se po enačbi:

$$D_{AM} = \Delta L_{A5} - \Delta L_{A95} \quad (13)$$

pri čemer je: D_{AM} – merilo za amplitudno modulacijo, ΔL_{A5} in ΔL_{A95} – 5% in 95% vrednost parametra $\Delta L_A(t)$.

T.6 VPLIV STABILNOSTI ATMOSFERE

Celodnevna nihanja osončenosti vzpostavljajo pogoje za cikle segrevanja in ohlajevanja mejnih atmosferskih plasti, ki se odražajo tudi v spreminjanju dinamičnih vetrnih razmer. Ponoči je zrak stabilno porazdeljen, ker je površina tal hladnejša od zraka. Ko prične tekem jasnega dne sonce vzhajati, prične sončno sevanje ogrevati tla hitreje kot zrak. Takoj po sončnem vzhodu prične turbulentni tok prevladovati nad tokom stabilnega nočnega zraka. Z naraščajočo višino se učinek strižnih napetosti na površini, ki vzdržuje turbulenco zmanjšuje, naraščati pa začne vzgonski učinek. Prihaja do mešanja s toplejšim zrakom. Debelina plasti s konvektivnim vplivom narašča tekem dneva zaradi nadaljevanja segrevanja površine. Pozno popoldne doseže zrak enako temperaturo kot tla, temperaturni profil postane adiabatski, ker ni več toplotnega toka iz tal. Proti večeru pa temperatura zraka preseže temperaturo tal in rezultirajoč toplotni tok proti tlem povzroči stabilen temperaturni profil. Takšna stabilna plast se tekem noči debeli, podobno kot narašča nestabilna plast tekem dneva.

Vetrni profil, z njim pa tudi pogoji za razširjanje hrupa, je močno odvisen od stabilnosti atmosfere, tako da lahko ravni hrupa tekem dneva nihajo tudi do 15 dBA [44].

Atmosferske stabilnostne razrede (Pasquill-Turner) [45] prikazuje tabela v nadaljevanju.

Tabela 5: Atmosferski stabilnostni razredi

Hitrost vetra [m/s]	DAN Sončna radiacija			NOČ Oblačnost	
	Močna	Srednja	Rahla	> 4/8	< 3/8
< 2	A	A ÷ B	B		
2 ÷ 3	A ÷ B	B	C	E	F
3 ÷ 5	B	B ÷ C	C	D	E
5 ÷ 6	C	C ÷ D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

- A Zelo nestabilno
- B Nestabilno
- C Deloma nestabilno
- D Nevtralno
- E Stabilno
- F Zelo stabilno

Atmosferska stabilnost, ki se tekem dneva lahko izrazito spreminja, ima močan vpliv na strižni profil vetra, oziroma na vertikalni gradient njegove hitrosti.

Znano je, da lahko temperaturna inverzija na višini 50 do 100 m občutno poveča ravni hrupa pri tleh. Vzrok za to je predvsem hlajenje tal zaradi sevanja v nočnem času, kar nadalje povzroči ohlajanje zraka pri tleh. To se pogosto dogaja v jasnih nočeh z malo vetra, kar pogojuje nastanek zelo stabilne atmosfere. Navedeno prikazuje tudi Tabela 5.

Pasquillovi razredi od A do F so tako merilo za stabilnost atmosfere. Kategoriji E in F tako predstavljata stabilne meteorološke razmere, ko je zelo verjeten nastanek toplotne inverzije. V takšnih razmerah je kinetična energija pretoka nezadostna za delovanje vzgonskih sil. Stabilni pogoji nastanejo pretežno tekem poznih večernih in v zgodnjih jutranjih urah, medtem ko so nestabilni v glavnem prisotni tekem dnevnega časa. V tem primeru gre za nestabilne tipe atmosfere, ko se hitrost vetra zelo malo spreminja z višino.

Pogoji za stabilno atmosfero se tako v večini primerov ustvarjajo ponoči, kadar so hitrosti vetra pri tleh majhne. Stabilna atmosfera nastopi, ko se prično tla ohlajati, to je po sončnem zahodu. Mirni vetrovi pri tleh poskrbijo za tiho ozadje, oziroma hrup drugih virov pride bolj do izraza. V takšnih razmerah se zvočni žarki lomijo navzdol, kar občutno poveča ravni hrupa pri tleh glede na pogoje v nestabilnih tipih atmosfere.

V takšnih pogojih lahko prihaja tudi do sprememb v geometrijski divergenci upadanja hrupa, še zlasti v nizkofrekvenčnem območju. Takrat se na določeni višini ustvari odbojna plast, zvočno valovanje pa je ujeto v kanal. V tem primeru je upadanje ravni hrupa blizu 3dB/podvojitvev oddaljenosti, namesto 6 dB/podvojitvev, kot se običajno dogaja pri sferičnem razširjanju. V svetu so tako zabeleženi primeri, ko je nizkofrekvenčni hrup vetrnic lahko slišen tudi na razdalje več kilometrov.

Zato bi morale tudi meritve hrupa vetrnih elektrarn, še zlasti velikih, zajeti tudi obdobja ko prevladuje stabilna atmosfera.

Nihanja smeri in hitrosti vetra so v dnevnem času bistveno intenzivnejša kot ponoči, kar prav tako lahko v znatni meri pripišemo tudi nestabilnosti atmosfere.

Učinek vetrne elektrarne je tako običajno največji pri stabilni atmosferi v nočnem času, v tem času pa je običajno tudi hrup ozadja bistveno nižji, kar še dodatno poveča motenost okolja s hrupom vetrnih elektrarn.

T.7 OCENA EMISIJ HRUPA VETRNIH ELEKTRARN

Emisija hrupa vetrnih elektrarn je prvenstveno odvisna od hitrosti vrtenja lopatic ter posledično tudi od moči vetrne elektrarne. Deloma na emisijo hrupa vpliva tudi oblika lopatic. Za prvo aproksimacijo zvočne moči je mogoče uporabiti izkustveno enačbo [44] v nadaljevanju, kjer je zvočna moč odvisna samo od števila obratov lopatic na minuto (N).

$$L_{WA} = 67,1 \cdot \log(N) + 15,4 \quad [\text{dBA}] \quad (14)$$

Ta empirični obrazec se do neke mere ujema s podatkom proizvajalca, ki v primeru vetrne elektrarne v Dolenji vasi pri Senožečah Dolenja vas pri 22 obratih na minuto podaja raven zvočne moči 105,5 dB(A) .

Zvočna moč vetrnih elektrarn večjih moči se da določiti tudi po sledečih enačbah glede na moč [20]:

- zvočna moč z A-uteženjem za celotno frekvenčno območje:

$$L_{WA} = 4,244 \cdot \ln(kW) + 71,57 \quad [\text{dBA}] \quad (15)$$

- zvočna moč z A-uteženjem za nizko frekvenčno območje:

$$L_{WA_LF} = 5,639 \cdot \ln(kW) + 50,88 \quad [\text{dBA}] \quad (16)$$

Upoštevajoč podatke za vetrnico tipa E-70 v Dolenji vasi, nazivne moči 2,3 MW, $L_{WA(10m/s)} = 104,4$ dBA dobimo po zgornjih enačbah:

za celotno frekvenčno območje:

$$L_{WA} = 4,244 \cdot \ln(2.300) + 71,57 = 104,4 \text{ dBA, kar je identično kar navaja proizvajalec Enercon,}$$

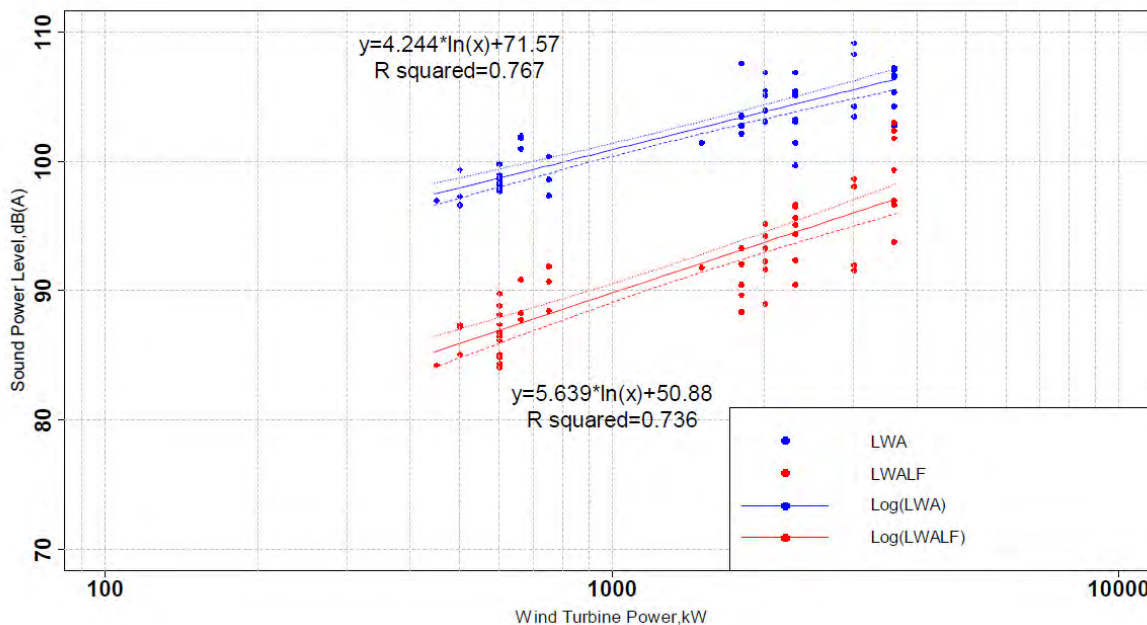
za nizko frekvenčno območje (20 ÷ 160 Hz):

$$L_{WA_LF} = 5,639 \cdot \ln(2.300) + 50,88 = 94,5 \text{ dBA.}$$

Tabela 6: Zvočna moč vetrnih elektrarn glede na nazivno moč [20]

Nazivna moč P [kW]	L_{WA} [dBA]	L_{WA_LF} [dBA]
500	97,9	85,9
1.000	100,9	89,8
1.500	102,6	92,1
2.000	103,8	93,7
2.500	104,8	95,0
3.000	105,5	96,0
4.000	106,8	97,7
6.000	108,5	99,9
8.000	109,7	101,6
10.000	110,7	102,8
15.000	112,4	105,1
20.000	113,6	106,7

Grafično navedeno prikazuje slika v nadaljevanju



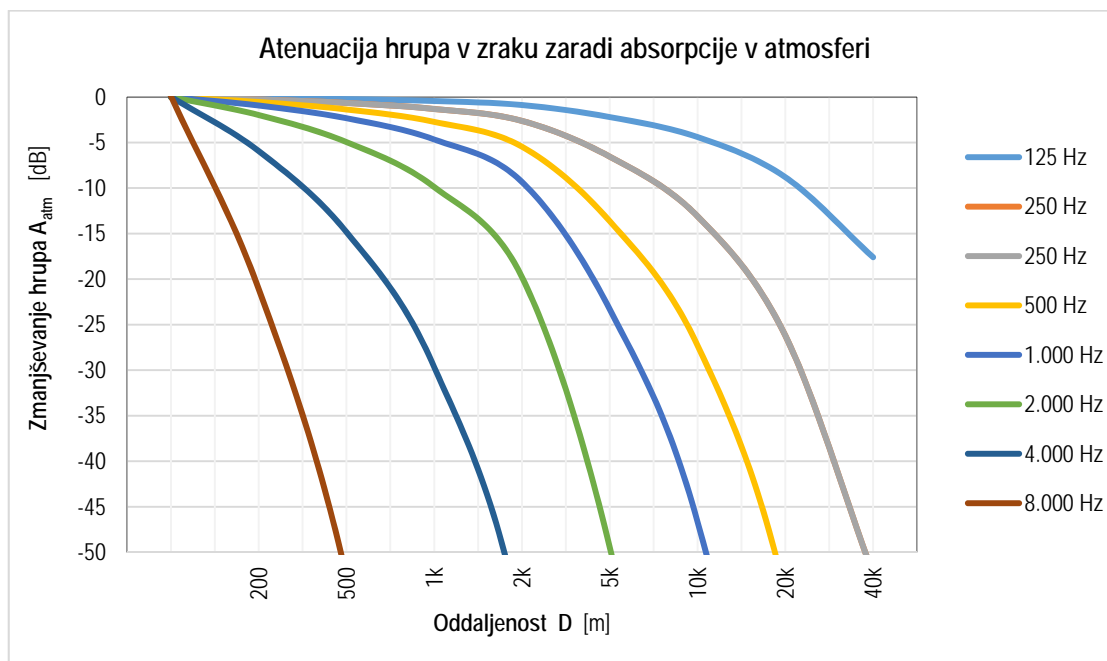
Slika 14: Zvočna moč LWA vetrnih elektrarn v odvisnost od moči (kW) [20]

Statistična analiza na osnovi prikaza, ki ga podaja Slika 14 kaže, da podvojitve nominalne moči vetrne elektrarne povzroči povečanje zvočne moči LWA za cca 2,9 dBA gledano za celotno frekvenčno območje, oz. se poveča zvočna moč zgolj v nizkem frekvenčnem območju LWA_{LF} za cca 3,9 dBA.

Slika v nadaljevanju prikazuje zmanjševanje hrupa z razdaljo zaradi absorpcije v zraku po enačbi iz SIST ISO 9613-2, za pogoje: T=20°C, rV = 50% in p = 101.325 kPa:

$$A_{\text{atm}} = -\alpha \cdot D / 1000 \quad (17)$$

pri čemer je: α – koeficient absorpcije v atmosferi, odvisen od temperature, relativne vlažnosti in pritiska, D – oddaljenost imisijskega mesta od vira hrupa.



Slika 15: Zmanjševanje hrupa z razdaljo zaradi absorpcije v zraku

Ker imajo vetrne elektrarne z večjo močjo bolj poudarjene nizke frekvence (op. Tabela 6) se bo le-te slišalo dalje primerjalno glede na vetrne elektrarne z nižjo močjo. Povedano drugače, zvočna moč L_{WA} (celotno frekvenčno območje) ali 1 velike (npr. 4.000 kW) ali dveh malih ($2 \cdot 2.000$ kW) se praktično ne spremeni, medtem ko je zvočna moč $L_{WA,LF}$ dveh malih ($2 \cdot 2.000$ kW) relativno za cca 1 dBA nižja kot ene večje elektrarne (4.000 kW). Ker je zvočna absorpcija za nizke frekvence bistveno slabša od absorpcije visokih frekvenc, bo obremenitev okolja s hrupom pri nizkih frekvencah višja v kolikor bo skupna instalirana zvočna moč polja vetrnih elektrarn dosežena z manjšim številom ampak močnejših vetrnic kot v primeru večjega števila šibkejših vetrnic.

T.8 MERITVE HRUPA VETRNIH ELEKTRARN V SKLADU S STANDARDOM IEC 61400-11:2002

Splošne značilnosti meritev hrupa vetrnih elektrarn po standardu IEC 61400-11:2002 so naslednje:

- standardna metoda, ki omogoča primerjavo akustičnih lastnosti različnih vetrnih elektrarn,
- vetrno elektrarno metoda upošteva kot točkovni vir hrupa,
- preprosta izvedba meritev.

T.8.1 OSNOVNE ZAHTEVE STANDARDA IEC 61400-11

T.8.1.1 Merilna oprema

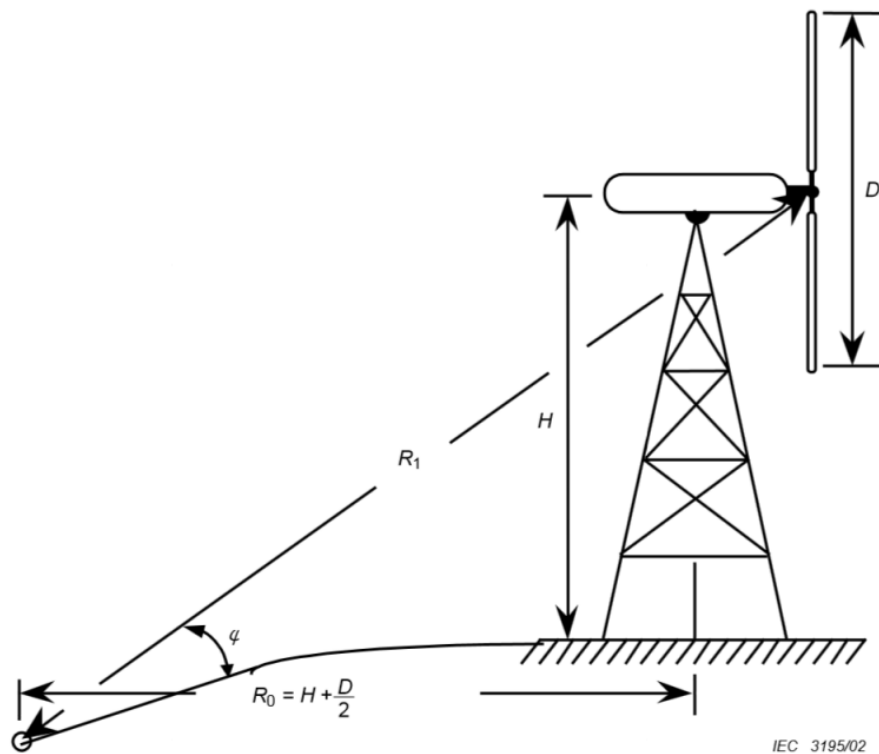
Pri izvedbi meritev je minimalna zahtevna oprema naslednja:

- merilnik hrupa, tip 1 po IEC 61260, frekvenčno območje 20 Hz – 10 kHz (4 kanali ali 4 enokanalni merilniki), potrebna dodatno opcija FFT,
- merilnik hitrosti in smeri vetra na višini 10 m (natančnost +/- 0,2 m/s).

V času obratovanja vetrne elektrarne se podatki o hitrosti vetra lahko pridobijo s strani upravljavca, postavitve dodatnega anemometra je potrebna predvsem v obdobju, ko elektrarna ne obratuje (določitev nivoja ozadja).

T.8.1.2 Določitev merilnih mest

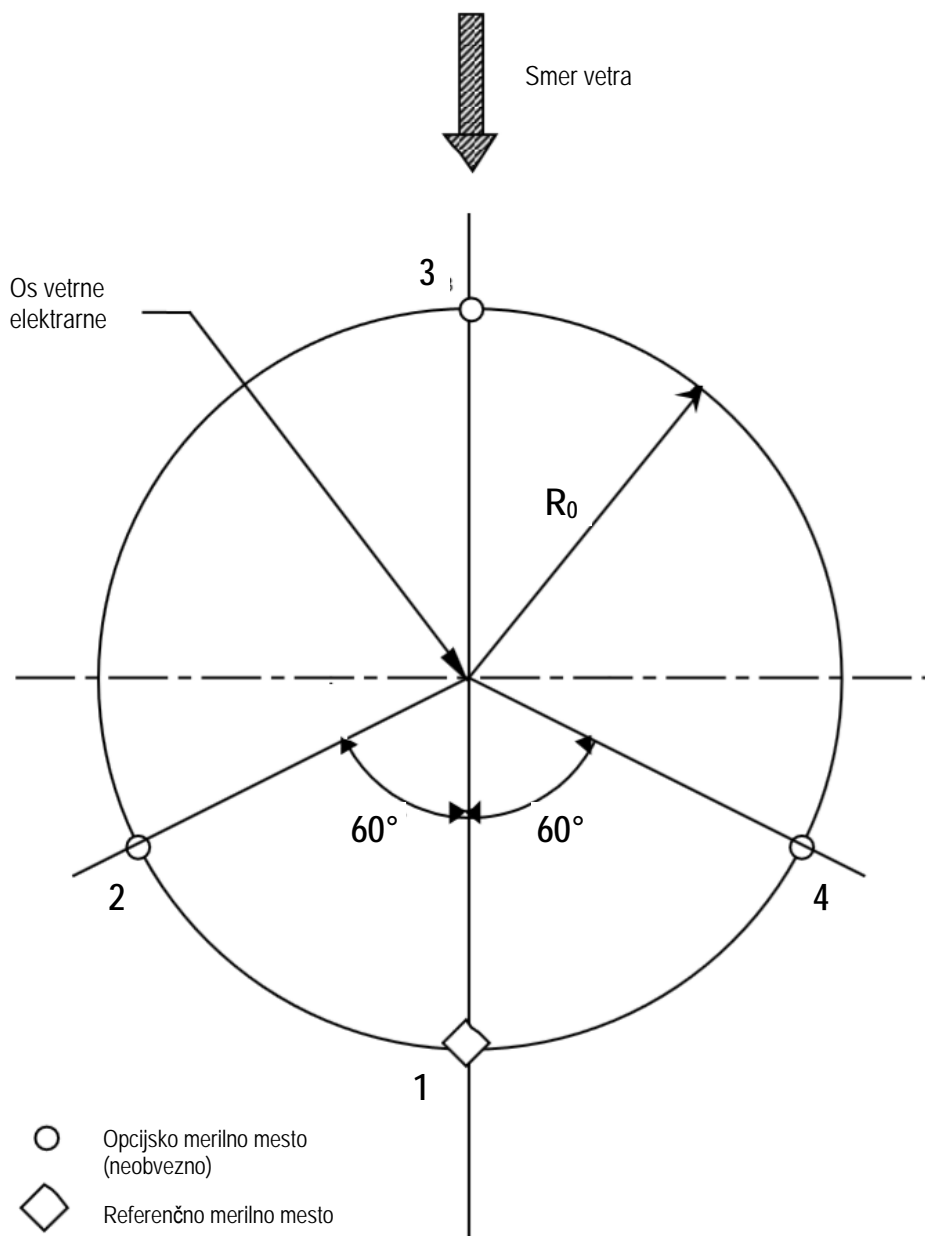
Merilna mesta hrupa so locirana na razdali R_0 od vetrne elektrarne, ki je odvisna od višine (H) in premera rotorja (D), način določitve razdalje R_0 prikazuje Slika 16.



Slika 16: Razdalja merilnih mest od vetrne elektrarne

Meritve hrupa se skladno s standardom IEC 61400-11 izvajajo na 1 referenčnem merilnem mestu oz. dodatnih 3 opcijskih merilnih mestih. Lokacijo in njihovo razporeditev prikazuje Slika 17.

- referenčno merilno mesto 1,
- dodatna merilna mesta 2, 3, 4 (opcijsko, za določitev usmerjenosti).



Slika 17: Lokacija in razporeditev merilnih mest

V primeru vetrne elektrarne Dolenja vas so parametri za izvajanje meritev hrupa po IEC 61400-11 sledeči:

- višina stolpa $H = 98\text{m}$,
- premer rotorja, $D = 71\text{m}$,
- razdalja merilnih mest, $R_0 = H + D/2 \approx 134\text{m}$.

Za zmanjšanje neposrednega vpliva vetra na merilne rezultate se mikrofoni postavijo na trdo odbojno podlago okrogle oblike ($r = 0,5$ m) in debeline minimalno 12 mm (Slika 18). Če je vpliv vetra še vedno prevelik, je potrebno čez celotno ploščo napeti še dodatno tanko zaščitno opno.



Slika 18: Pritrditev mikrofona na podlago

T.8.2 IZVEDBA MERITEV PO STANDARDU IEC 61400-11

Z meritvami hrupa v skladu s standardom IEC 61400-11 se določajo naslednje akustične lastnosti vetrne elektrarne:

- ravni hrupa na vnaprej definiranih točkah 1, 2, 3 in 4 glede na geometrijo vetrne elektrarne in smeri vetra,
- zvočno moč vetrne elektrarne (L_{WA}) v odvisnosti od hitrosti vetra,
- frekvenčni spekter hrupa (20 Hz – 10 kHz),
- usmerjenost,
- tonaliteto.

Meritve hrupa so smiselne v razmerah, ko je nivo ozadja bistveno nižji od vira hrupa, zato se meritve po standardu IEC 61400-11 izvajajo pri hitrosti vetra med 6 in 10 m/s. Meritve je potrebno izvesti v obdobju obratovanja vetrne elektrarne ter v času, ko je delovanje elektrarne zaustavljeno (nivo ozadje). Zaustavitev vetrne elektrarne je potrebna zato, da se lahko v največji možni meri določi vpliv ozadja, pri čemer pa je takšno zaustavitev težko doseči, ker upravitelji temu niso naklonjeni. Zaradi slednjega se je treba posluževati drugih metod po katerih je mogoče dovolj zanesljivo oceniti vpliv ozadja, katerega prvenstveno povzroča veter.

Zaradi zagotavljanja čim bolj podobnih pogojev okolja, morajo biti meritve nivoja ozadja izvedene v čim krajšem časovnem intervalu po izvedenih meritvah hrupa v času obratovanja vetrne elektrarne.

Meritve na vseh 4 merilnih mestih se izvajajo sočasno (priporočilo standarda), potrebnih je vsaj 30 meritev v intervalu po 1 min. Merilni rezultati se razvrstijo glede na hitrost vetra 6, 7, 8, 9 in 10 m/s (+/- 0,5 m/s), v vsakem obravnavanem hitrostnem pasu morajo biti izvedene vsaj 3 meritve.

Meritve nivoja ozadja se podobno izvedejo pri enakih hitrosti vetra, trajanje meritev je odvisno od zagotavljanja istih pogojev okolja kot v času obratovanja vetrne elektrarne. Meritve hitrosti vetra morajo biti časovno sinhronizirane z meritvami hrupa.

Za določitev poudarjenih tonov je potrebno na referenčnem merilnem mestu 1 izvesti dodatne meritve z FFT analizo.

Dodatno se lahko izvajajo frekvenčne analize v območju infrazvoka (pod 20 Hz) z vrednotenjem po G krivulji (ISO 7196) ter na območju nizkofrekvenčnega zvoka v območju med 20 in 100 Hz z vrednotenjem po C krivulji.

Vse meritve morajo biti izvedene na način, da je nivo ozadja vsaj 3 dB manjši od vetrne elektrarne v času obratovanja vetrne elektrarne.

T.8.2.1 Določitev zvočne moči

Zvočna moč vetrne elektrarne L_{WA} se določi v skladu s IEC 61400-11 posebej za vsako izmed obravnavanih hitrosti vetra 6, 7, 8, 9 in 10 m/s, na podlagi naslednje enačbe:

$$L_{WA,k} = L_{Aeq,k} - 6 + 10 \log \frac{4\pi R_1^2}{S_0} \quad (18)$$

pri čemer je:

$L_{Aeq,k}$ – izmerjena povprečna vrednost na merilnem mestu 1 v dB(A) z upoštevanom korekcijo ozadja,

R_1 – razdalja med središčem rotorja in merilnim mestom 1,

S_0 – referenčna površina 1 m².

T.8.2.2 Usmerjenost

Usmerjenost Δ_i se določi v skladu s IEC 61400-11 na podlagi naslednje enačbe:

$$\Delta_i = L_{Aeq,i} - L_{Aeq,1} - 20 \log \left(\frac{R_i}{R_1} \right), \quad (19)$$

pri čemer je:

$L_{Aeq,i}$ – izmerjena povprečna vrednost na merilnem mestu 2, 3 in 4 v dBA z upoštevanom korekcijo ozadja,

$L_{Aeq,1}$ – izmerjena povprečna vrednost na merilnem mestu 1 v dBA z upoštevanom korekcijo ozadja,

R_i – razdalja med središčem rotorja in merilnim mestom i (2, 3, in 4),

R_1 – razdalja med središčem rotorja in merilnim mestom 1.

T.8.2.3 Meritve pomožnih količin (veter)

Poleg meritev samih ravni hrupa je pri vetrnih elektrarnah potrebno spremljati tudi hitrost in smer vetra in ju korelirati z izmerjenimi ravni hrupa. Podatki o hitrosti in smeri vetra na višini osi elis so bili pridobili s strani upravljalca vetrne elektrarne.

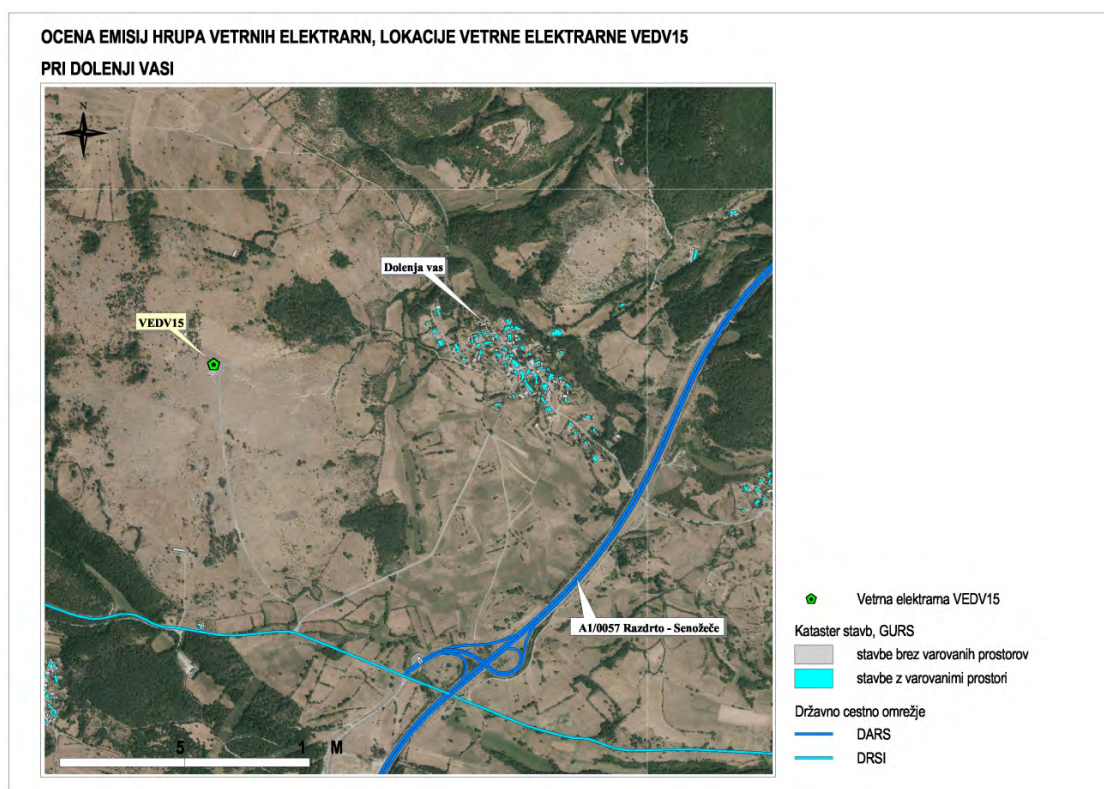
Dodatno pa je bil postavljen anemometer na višini 4m.

T.9 VETRNA ELEKTRARNA VEDV15 PRI DOLENJI VASI

Vetrna elektrarna Dolenja vas na Griškem polju pri Dolenji vasi, blizu Senožeč v občini Divača, je največja vetrna elektrarna v Sloveniji. Oddaljenost med vetrno elektrarno in najbližjimi stavbami v naselju Dolenja vas je 880 m. Vetrno elektrarno prikazuje Slika 19, njeno lego v prostoru pa Slika 20. Na širšem območju Dolenje vasi je prevladujoči vir hrupa obratovanje avtoceste A1/0057 Razdrto – Senožeče, dodatni vir hrupa je regionalna cesta R2-445/0349 Senožeče – Sežana ter občasno kmetijska dejavnost.



Slika 19: Vetrna elektrarna VEDV15, pogled od stavbe Dolenja vas 34B

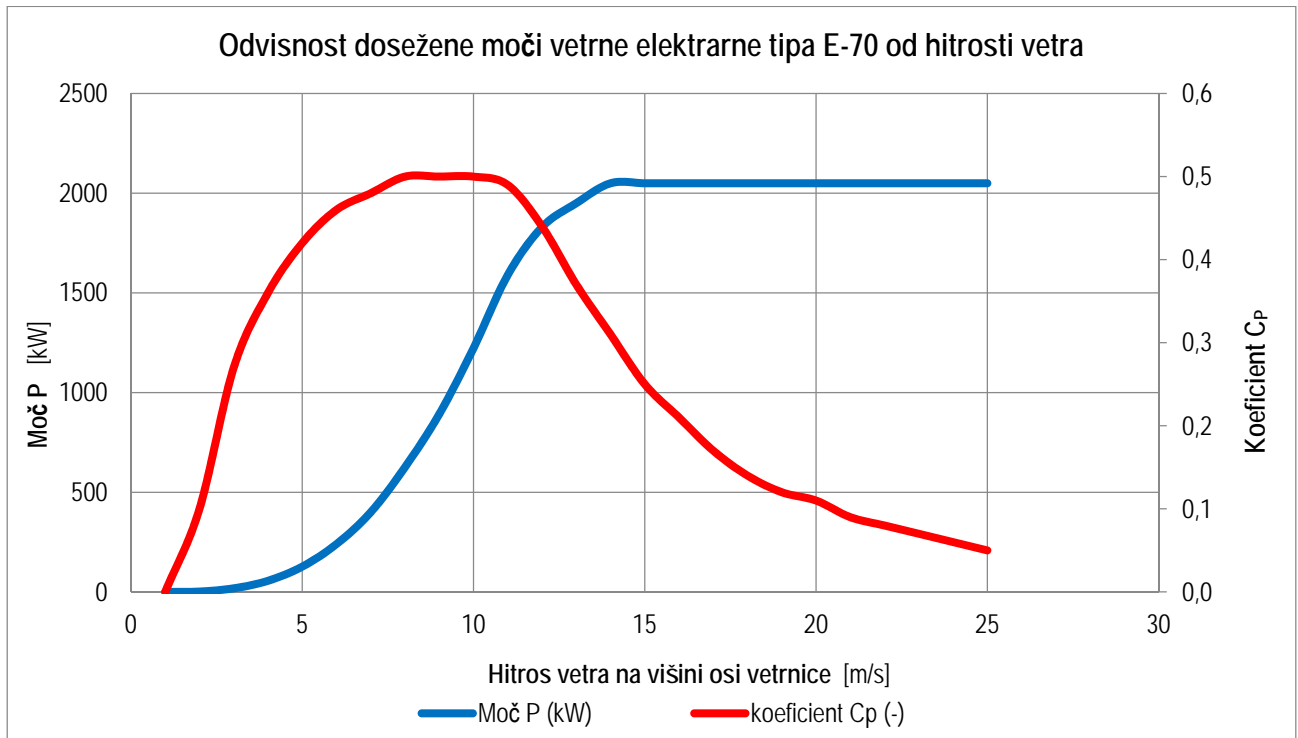


Slika 20: Vetrna elektrarna VEDV15, situacija v prostoru

T.9.1 OBRATOVALNI PODATKI

Upravljaec vetrne elektrarne je podjetje AAE d.o.o., oznaka naprave je VEDV15, serijska številka 783219. Elektrarno sestavlja vetrnica tipa E-70 z generatorjem nazivne moči 2,3 MW nemškega proizvajalca Enercon, ki sta nameščena na 98 m visokem stolpu. Trikraki rotor premera 71 m se vrti s frekvenco med 6 in 22 obratov/min.

Vetrna elektrarna tipa E-70 po podatkih proizvajalca doseže maksimalno moč pri hitrosti vetra 15 m/s; odvisnost dosežene moči vetrne elektrarne od hitrosti vetra prikazuje Slika 21.



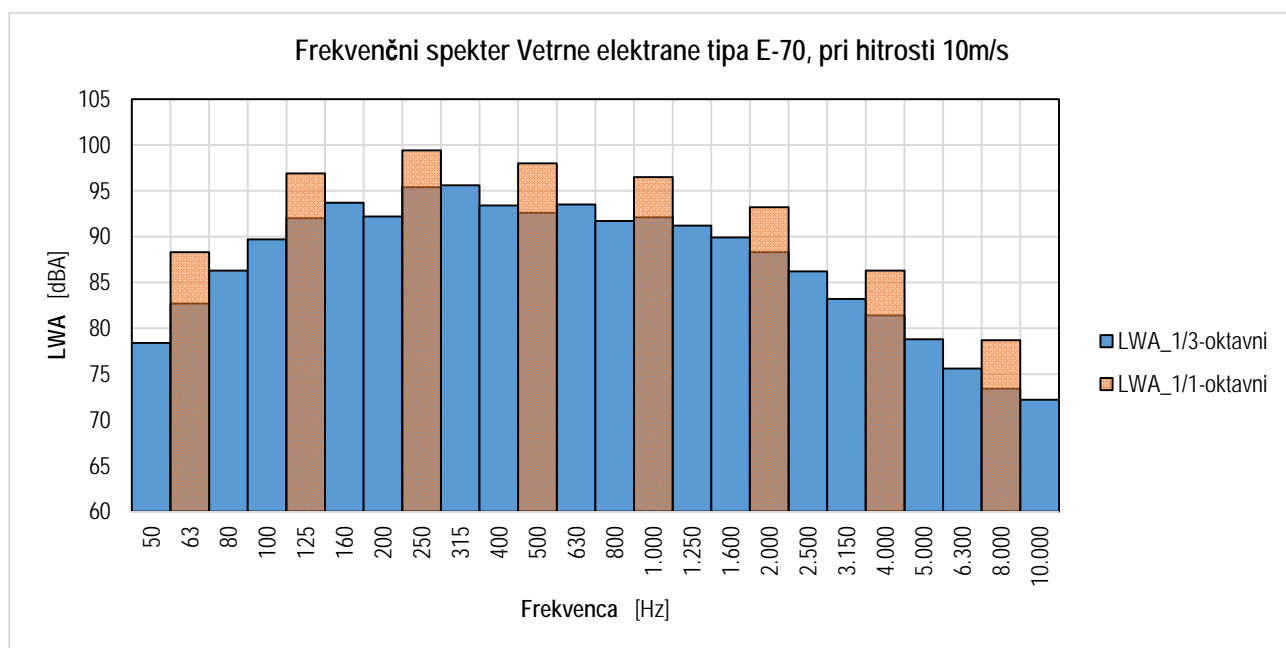
Slika 21: Odvisnost dosežene moči vetrne elektrarne tipa E-70 od hitrosti vetra (vir: upravljaec AAE, d.o.o.)

Po podatkih proizvajalca ima vetrna elektrarna tipa E-70 pri 95% doseženi maksimalni obremenitvi pri hitrosti vetra 10 m/s zvočno moč 104,4 dBA, glede na frekvenčni spekter pa je največja zvočna moč v območju med 200 Hz in 315 Hz (99,4 dBA) [48]. Zvočne moči v posameznih terčnih in oktavnih pasovih med 50 in 10.000 Hz prikazuje tabela v nadaljevanju.

Tabela 7: Zvočna moč (L_{WA}) vetrne elektrarne tipa E-70 v frekvenčnih pasovih pri hitrostih vetra 10 m/s v dBA

Frekvenca [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630
L_{WA} (terčni)	78,4	82,7	86,3	89,7	92,0	93,7	92,2	95,4	95,6	93,4	92,6	93,5
L_{WA} (oklavni)	88,3			96,9			99,4			98,0		
Frekvenca [Hz]	800	1.000	1.250	1.600	2.000	2.500	3.150	4.000	5.000	6.300	8.000	10.000
L_{WA} (terčni)	91,7	92,1	91,2	89,9	88,3	86,2	83,2	81,4	78,8	75,6	73,4	72,2
L_{WA} (oklavni)	96,5			93,2			86,3			78,7		

Slika v nadaljevanju prikazuje frekvenčni spekter vetrne elektrarne tipa E-70 pri hitrosti vetra 10 m/s na grafični način za podatke iz zgornje tabele.

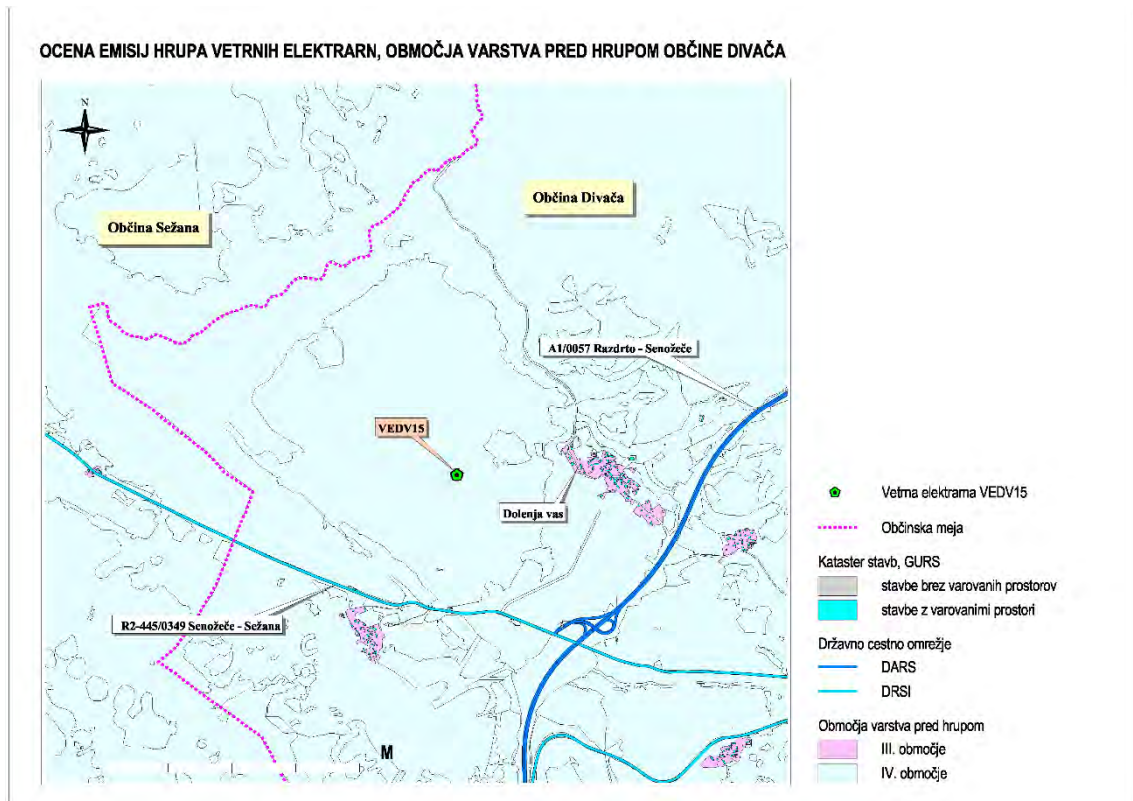


Slika 22: Grafični prikaz frekvenčnega spektra za vetrno elektrarno E-70 pri hitrosti vetra 10 m/s

Glede na te emisijske lastnosti vetrne elektrane je po standardu ISO 9613-2:1999 računsko ocenjena obremenitev s hrupom zaradi njenega obratovanja pri 95% maksimalni moči na oddaljenosti 880 m (pri stavbi Dolenja vas 34b) manjša od 40 dBA. Ta vrednost je reda velikosti ravni hrupa ozadja pri za to lokacijo značilnih vremenskih – predvsem vetrovnih razmerah. Obratovanje vetrne elektrarne je zato slišno zaznavo predvsem pri ustreznih meteoroloških pogojih zaradi značilne nizkofrekvenčne porazdelitve emitiranega hrupa, ki pa v A-vrednoteni zvočni moči ni upoštevan.

T.9.2 OBMOČJA VARSTVA PRED HRUPOM

Vetrna VEDV15 leži v občini Divača, v zahodnem in južnem delu pa se približa območju občine Sežana. Območja varstva pred hrupom v veljavnem prostorskem načrtu občine Divača (Odlok o prostorskih ureditvenih pogojih v Občini Divača, Ur.l. RS 45/05, 119/08) niso posebej določena, so pa določena v 77. členu predloga OPN občine Divača: Območja stanovanj (S), centralnih dejavnosti (C), posebna območja (B) in območja zelenih površin (Z) so razvrščene v III. območje varstva pred hrupom, v IV. območju pa so gospodarske cone ter kmetijske, industrijske, obrtne in infrastrukturne površine. Območja z II. stopnjo varstva pred hrupom v predlogu OPN občine Divača niso predvidena. Območja varstva pred hrupom v vplivnem območju vetrne elektrarne VEDV15 so prikazana na sliki 4.

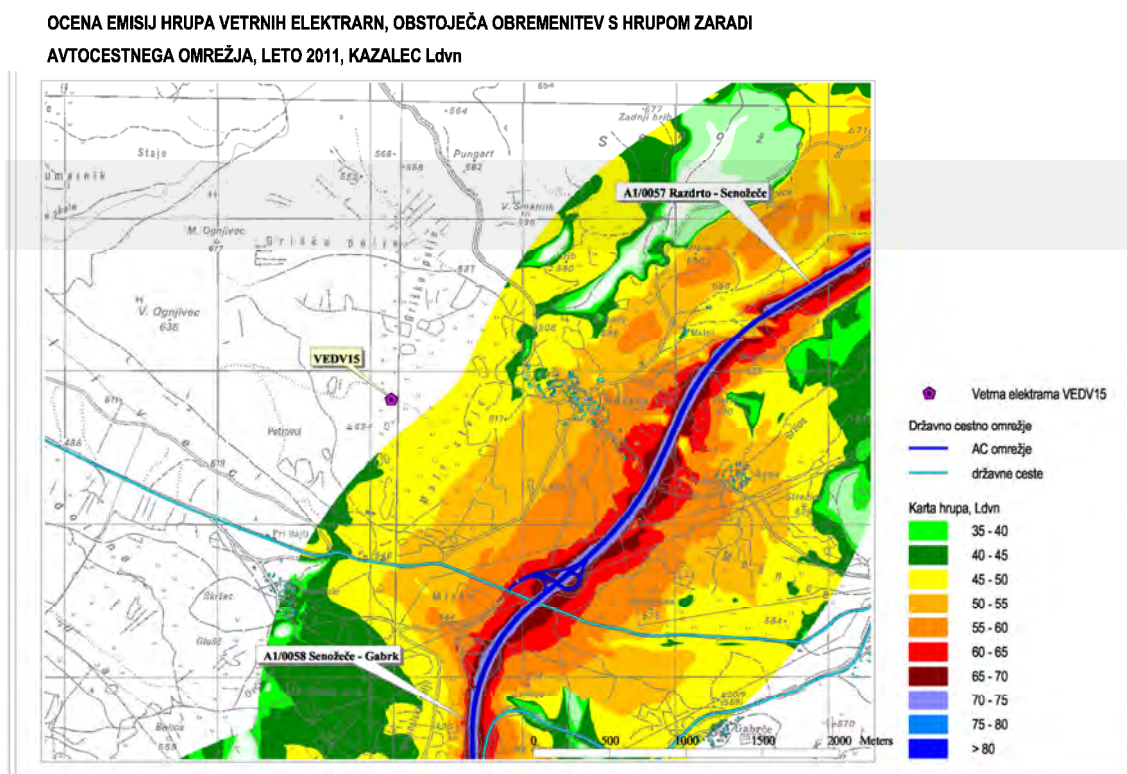


Slika 23: Območja varstva pred hrupom v vplivnem območju vetrne elektrarne (vir: OPN občine Divača)

T.9.3 OBSTOJEČA OBREMENITEV S HRUPOM

Na širšem vplivnem območju vetrne elektrarne je prevladujoči vir hrupa promet po AC odsekih A1/0057 Razdrto – Senožeče in A1/0058 Senožeče – Gabrk, dodatni viri hrupa so promet po regionalni cesti R2-445/0349 Senožeče – Sežana, lokalni promet ter občasno kmetijska dejavnost.

Podatki o obremenitvi okolja zaradi prometa po AC so povzeti po obratovalnem monitoringu hrupa za omrežje cest v upravljanju DARS d.d. [23]. Obremenitev v letu 2011 za kazalec celodnevne obremenitve L_{dvn} prikazuje Slika 24. Obremenitev s hrupom pri stanovanjskih stavbah v Dolenji vasi zaradi prometa po avtocesti A1 je v nočnem času dosegala do 54 dBA, celodnevna obremenitev L_{dvn} pa 62 dBA. Vetrni elektrarni je najbližja stanovanjska stavba Dolenja vas 34B, pri kateri je obremenitev s hrupom zaradi prometa po avtocesti dosegala v nočnem času do 40 dBA, celodnevna obremenitev do 47 dBA.

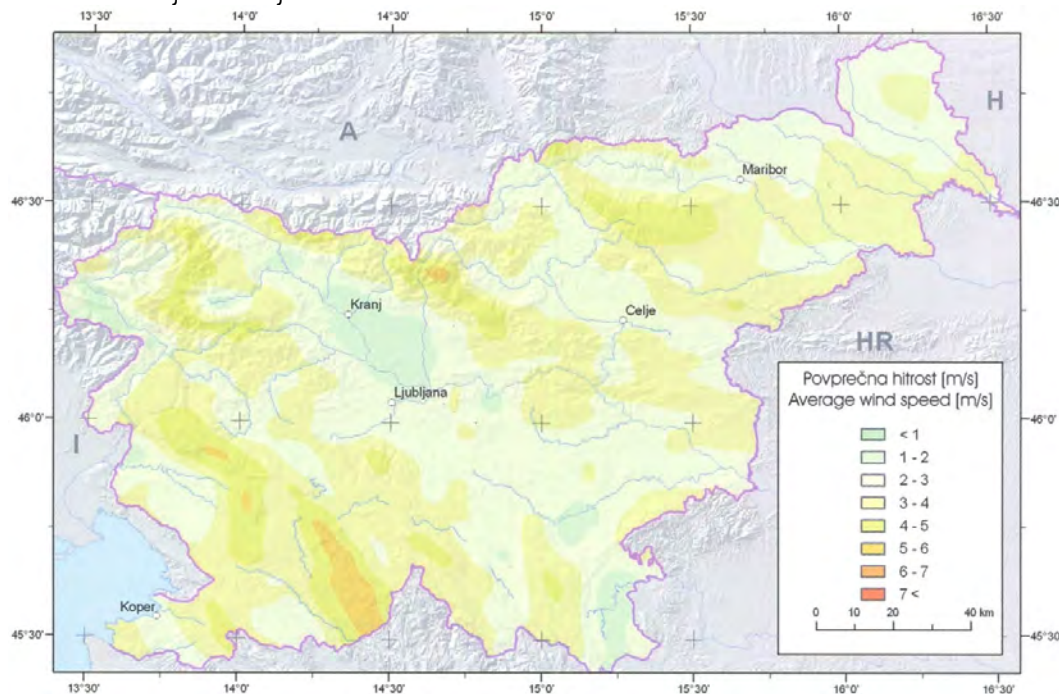


Slika 24: Obremenitev s hrupom zaradi avtocestnega omrežja, leto 2011, kazalec L_{dvn}

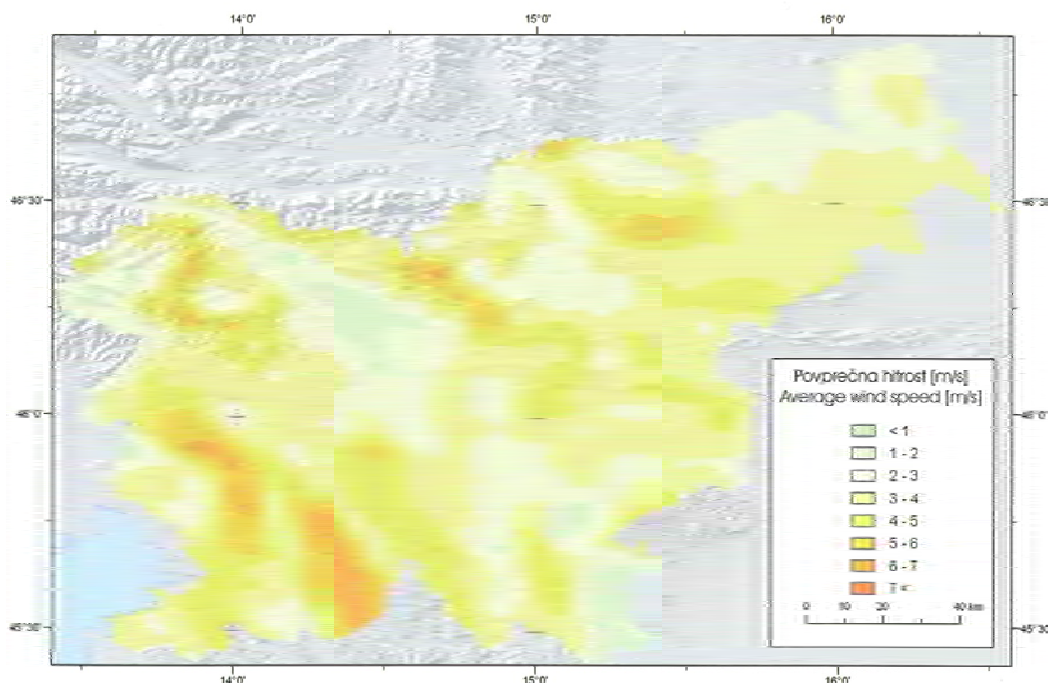
Obremenitev s hrupom zaradi avtoceste pri stanovanjskih stavbah v naselju Senadole zaradi prometa po avtocesti v nočnem času dosega do 42 dBA, celodnevna obremenitev L_{dvn} do 49 dBA. Na območju Senadole je vetrni elektrarni najbližja stanovanjska stavba Senadole 1a, ki je zaradi prometa po avtocesti obremenjena v nočnem času do 35 dBA, v celodnevnem obdobju do 40 dBA. Dodaten vir hrupa v naselju Senadole je tudi regionalna cesta R2-445/0349 Senožeče – Sežana. Pri najbližjih stanovanjskih stavbah v naseljih Dolenja vas in Senadole v obstoječem stanju obremenitev s hrupom zaradi prometa po AC omrežju ne presega mejnih vrednosti kazalcev hrupa za infrastrukturne vire.

T.9.4 VETROVNE RAZMERE NA GRIŠKEM POLJU

Povprečno hitrost vetra v višini 10 m nad tlemi v Sloveniji prikazujeta Slika 25 in Slika 26 [53]. Širše območje Notranjske in Krasa je med bolj prevetrenimi območji v Sloveniji.



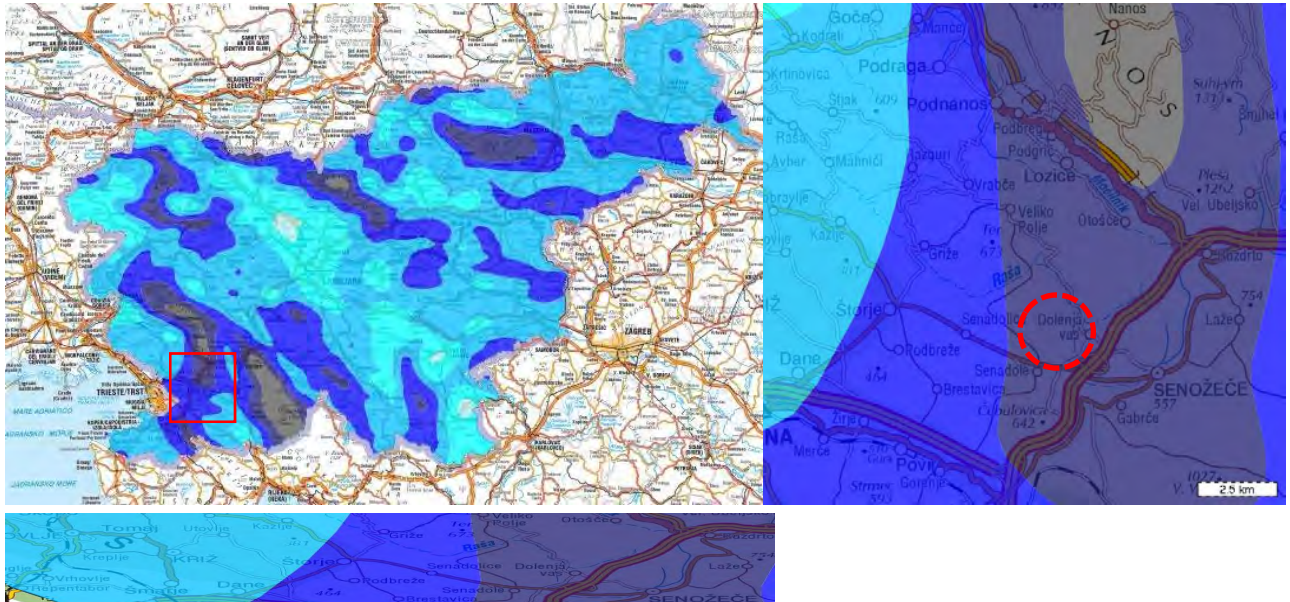
Slika 25: Povprečna hitrost vetra v višini 10m nad tlemi, letno povprečje



Slika 26: Povprečna hitrost vetra v višini 10m nad tlemi, mesec december

Vetna elektrarna pri Dolenji vasi leži na Griškem polju na vzhodnem robu Krasa, kjer so prevladujoči vetrovi SV smeri. Meritve hrupa za ocena emisij hrupa za VEDV15 so bile izvedene v mesecu decembru 2016, mesečno povprečje za mesec december prikazuje Slika 27. Iz prikazov hitrosti vetrov je razvidno, da so na obravnavanem območju hitrosti vetra v mesecu decembra višje od letnega povprečja, kar je predvsem posledica pojava burje.

Na širšem območju Senožeških Brd, Vremščiće, Gabrka itd... ter na Griškem polju že več let potekajo meritve vetra in njegovega potenciala [53]. Med vetrovno primernimi območji, to so območja s povprečno hitrostjo vetra več kot 4,5 m/s 50 m nad tlemi, je tudi območje vetrne elektrarne pri Dolenji vasi. Povprečna letna hitrost vetra 50m nad tlemi za obdobje 1994-2001 prikazuje Slika 27.

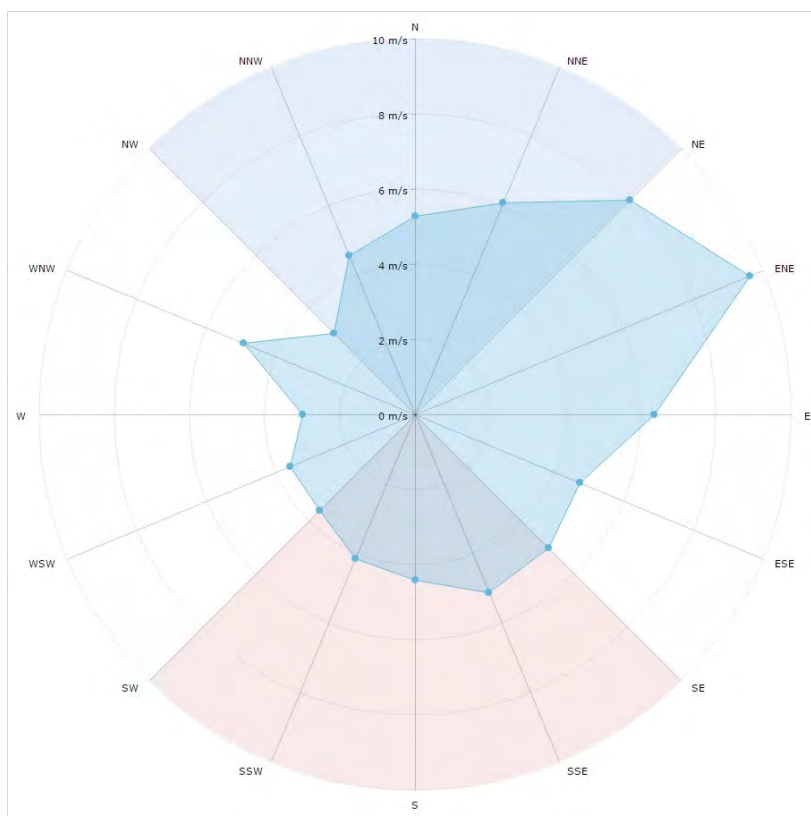


Slika 27: Povprečna letna hitrost vetra 50m nad tlemi (obdobje 1994-2001) (Vetrovnost v Sloveniji, ZRC SAZU 2009, model DADA)

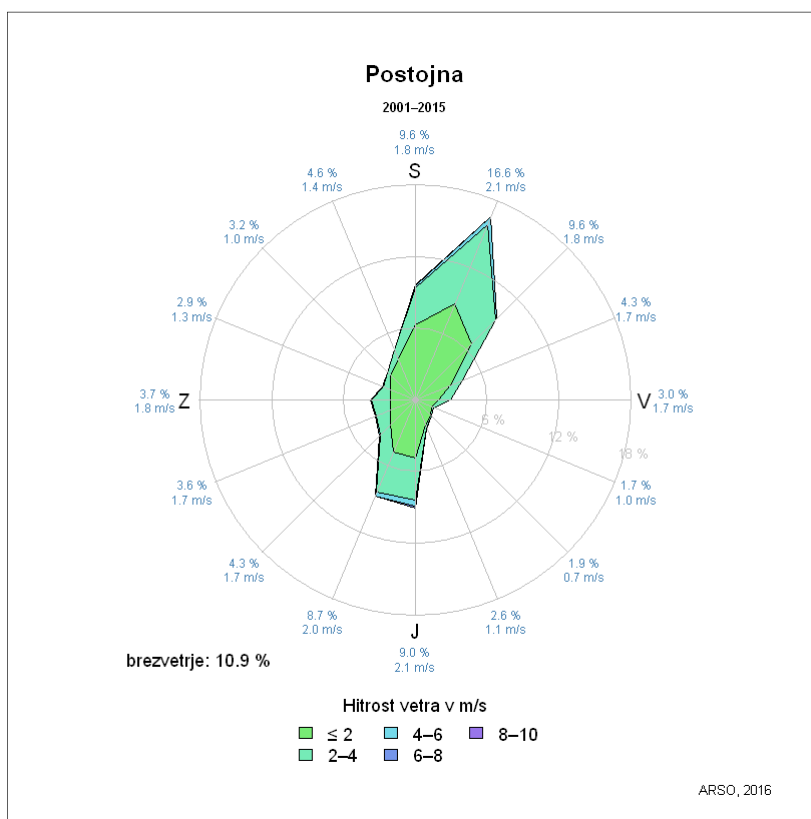
Podatke o hitrosti in smeri vetra za leto 2014 na območju vetrne elektrarne VEDV15 je posredoval upravitelj elektrarne (AAE), podatki so izmerjeni na višini 98 m, rožo vetrov za leto 2014 na obravnavanem območju prikazuje Slika 28. Iz rože vetrov je razvidno, da najvišje povprečne hitrosti, merjeno na višini 98m, dosegajo vetrovi SV smeri (burja), za katere je povprečna hitrost v letu 2014 na območju vetrne elektrarne bila skoraj 10 m/s. Sledijo vetrovi SZ in JV smeri, povprečna hitrost v letu 2014 je bila približno 5 m/s.

Burja je hladen, sunkovit, po večini suh severovzhodni veter, njena hitrost se v kratkem času lahko poveča ali zmanjša za desetkrat, najpogosteje se pojavlja med mesecema novembrom in aprilom. Po pobočjih Trnovskega gozda in Nanosa v sunkih spušča v Vipavsko dolino in v nadaljevanju piha proti Krasi in obali. V dolgoletnem povprečju piha zmerna do močna burja kar 42 dni na leto. Običajna hitrost burje je okrog 36 km/h (10 m/s), najmočnejši sunki presegajo hitrost 200 km/h, na obali pa so v povprečju za 50 km/h šibkejši. Vetrovi južnih in jugozahodnih smeri se večinoma pojavljajo v obdobju od pomladi do jeseni. Tako burja kot vetrovi južnih smeri so največkrat povezani s pojavom sredozemskega ciklona.

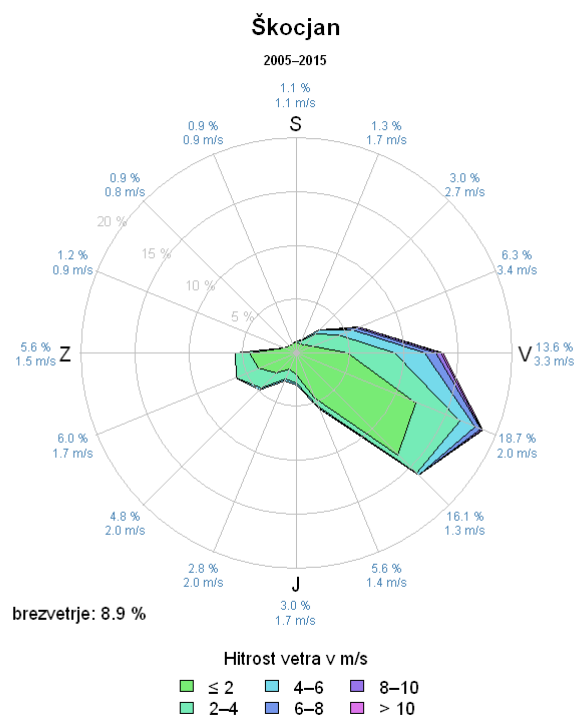
Na širšem območju Notranjske in Krasa sta še dve stalni meteorološki postaji (ARSO), na območju Postojne (437.588, 58.228) ter Škocjana (421.892, 69.412). Podatki so vetru na teh lokacijah se nanašajo na višino 10 m, zato niso neposredno primerljivi s podatki hitrosti vetrov vetrnice pri Dolenji vasi. Na obeh postajah so prevladujoči vetrovi vzhodnih smeri, v Postojni SV, v Škocjanu pa JV. Povprečne letne hitrosti vetra v Postojni v obdobju 2001 – 2015 na višini 10 m ne presegajo 2 m/s, brezvetrja je skoraj 11 %. Povprečne letne hitrosti vetra v Škocjanu v obdobju 2005 – 2015 ne presegajo 2 m/s, brezvetrja je skoraj 9 %. Rožo vetrov za meteorološko postajo Postojna prikazuje Slika 29, za meteorološko postajo Škocjan pa Slika 30.



Slika 28: Roža vetrov v letu 2014, Vetrna elektrarna VEDV15 pri Dolenji vasi



Slika 29: Roža vetrov za obdobje 2001 - 2015, meteorološka postaja Postojna (ARSO)

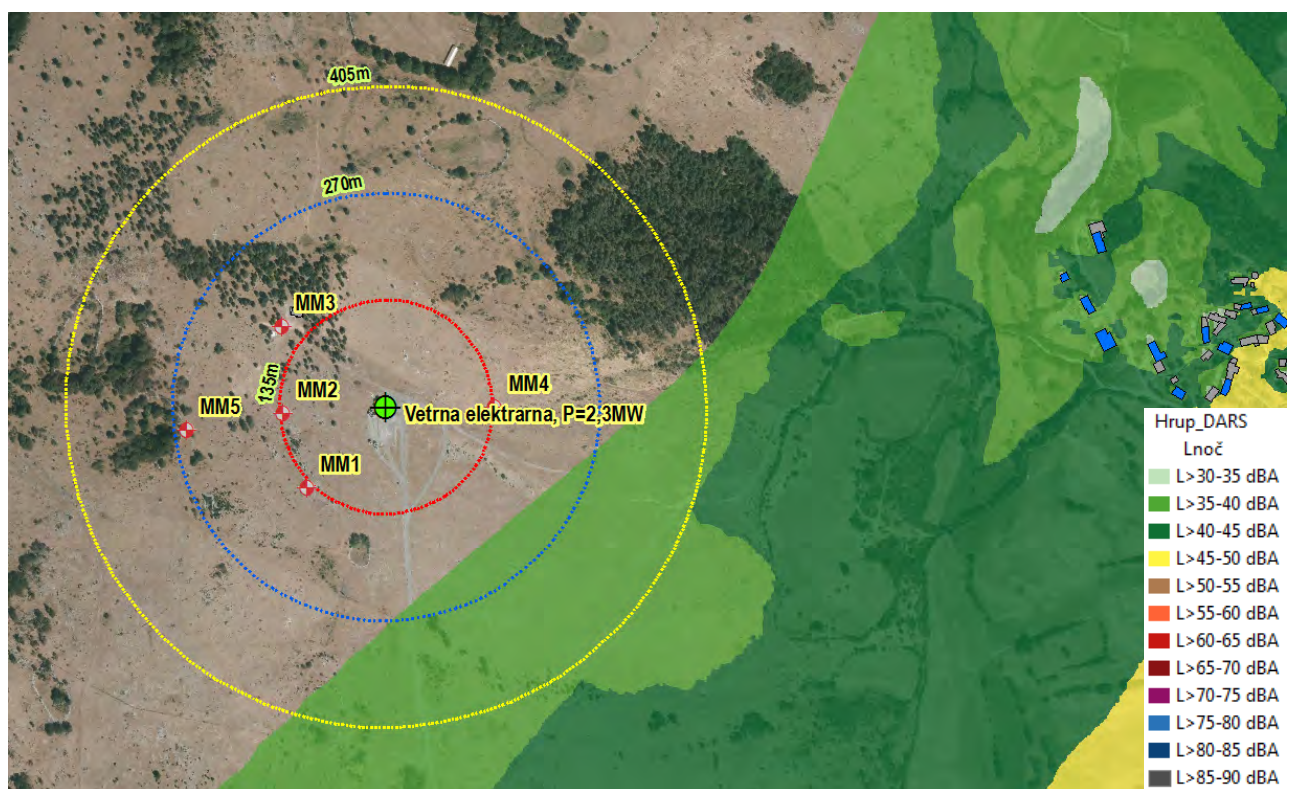
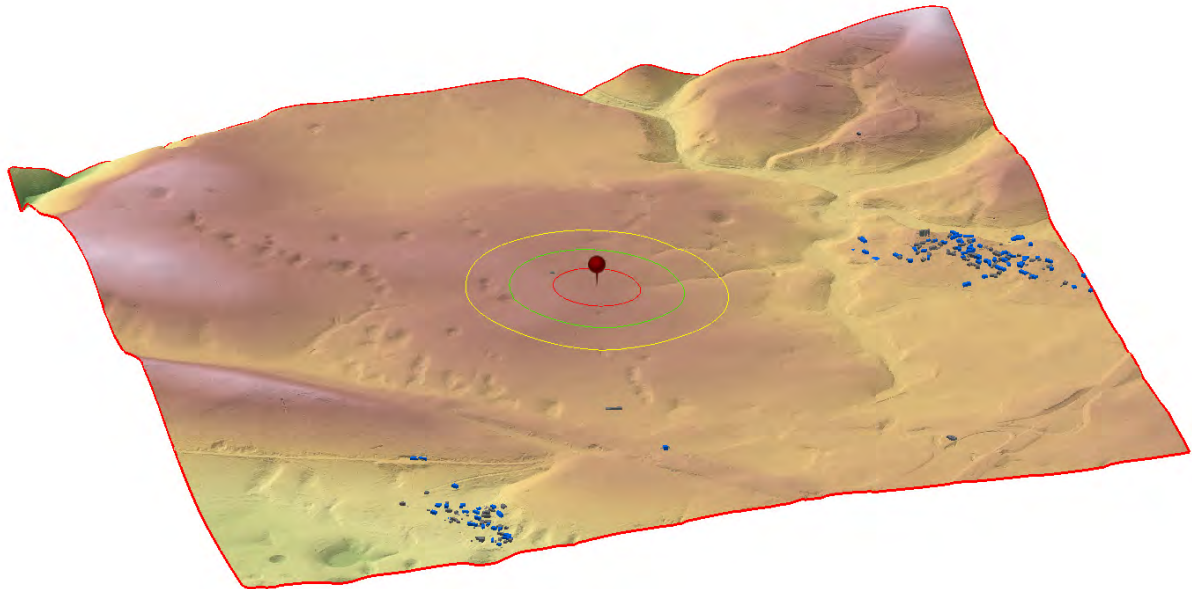


ARSO, 2016

Slika 30: Roža vetrov za obdobje 2001 - 2015, meteorološka postaja Škocjan (ARSO)

T.10 VETRNA ELEKTRARNA VEDV15 V DOLENJI VASI PRI SENOŽEČAH – MERITVE HRUPA

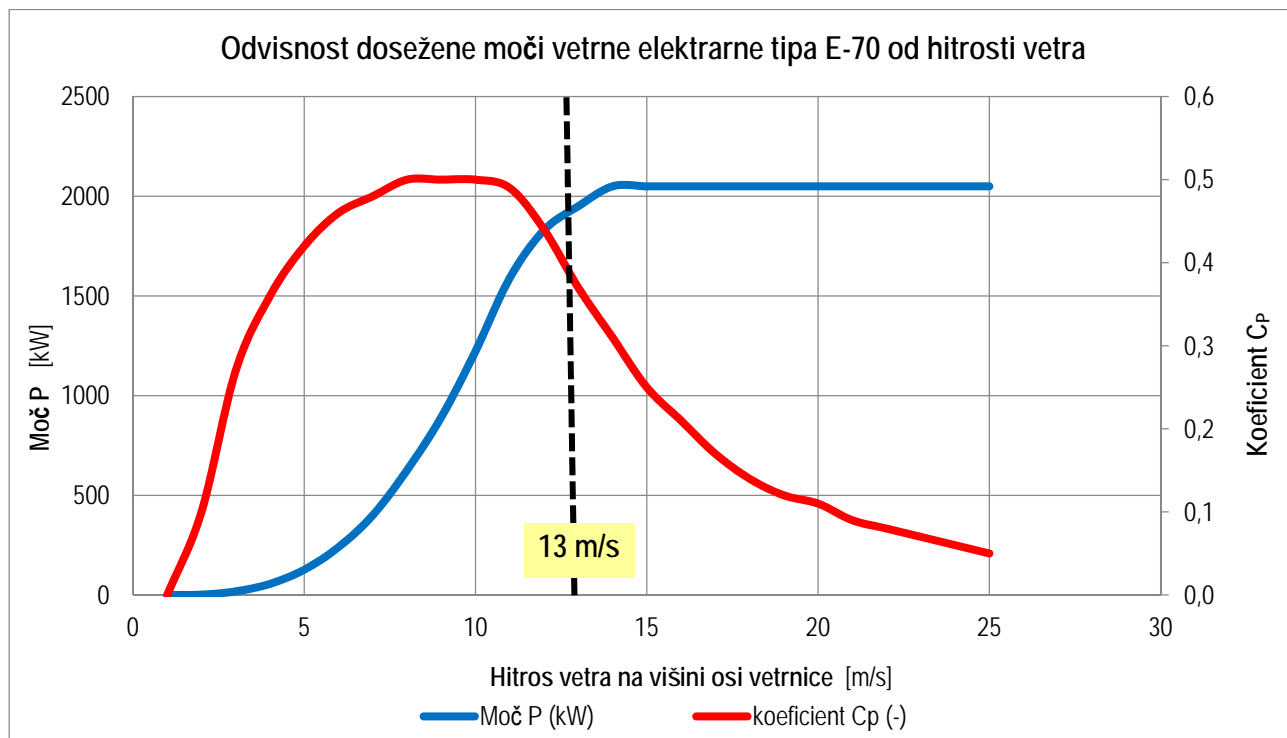
Kot je že omenjeno v predhodnem tekstu se najbližji stanovanjski objekti nahajajo v vzhodni smeri v naselju Dolenja vas (op. Dolenja vas 34B) na oddaljenosti cca 880m. Umestitev v prostor podaja Slika 31. Na širšem območju Dolenje vasi je prevladujoči vir hrupa cestni promet po avtocesti Razdrto – Koper (Slika 31), dodatni vir hrupa je regionalna cesta Senožeče – Sežana, lokalne ceste skozi Dolenjo vas ter občasno kmetijske dejavnosti.



Vir: Strateške karte hrupa cest v upravljanju DARS, [23]

Slika 31: Lokacija vetrne elektrarne s pripadajočimi merilnimi mesti ter položaj najbližjih stanovanjskih stavb vhodno na razdalji cca 880m ter hrup ozadja AC Razdrto – Koper (op. kazalec hrupa za nočni čas)

Slika v nadaljevanju prikazuje odvisnost teoretične nazivne moči in izkoristika v odvisnosti od hitrosti vetra na višini rotorja.



Slika 32: Odvisnost moči vetrne elektrarne E-70 v Dolenji vasi od hitrosti vetra na višini osi lopatic (vir: upravljavec AAE, d.o.o.)

Upoštevajoč podatke, nazivna moč 2,3 MW, pri hitrosti vetra cca 13 m/s in več dobimo po enačbah iz poglavja T.7 sledeče rezultate za zvočno moč:

za celotno frekvenčno območje:

$$L_{WA} = 4,244 \cdot \ln(2.300) + 71,57 = 104,4 \text{ dBA, kar je identično kar navaja proizvajalec Enercon,}$$

za nizko frekvenčno območje (20 – 160 Hz):

$$L_{WA_LF} = 5,639 \cdot \ln(2.300) + 50,88 = 94,5 \text{ dBA.}$$

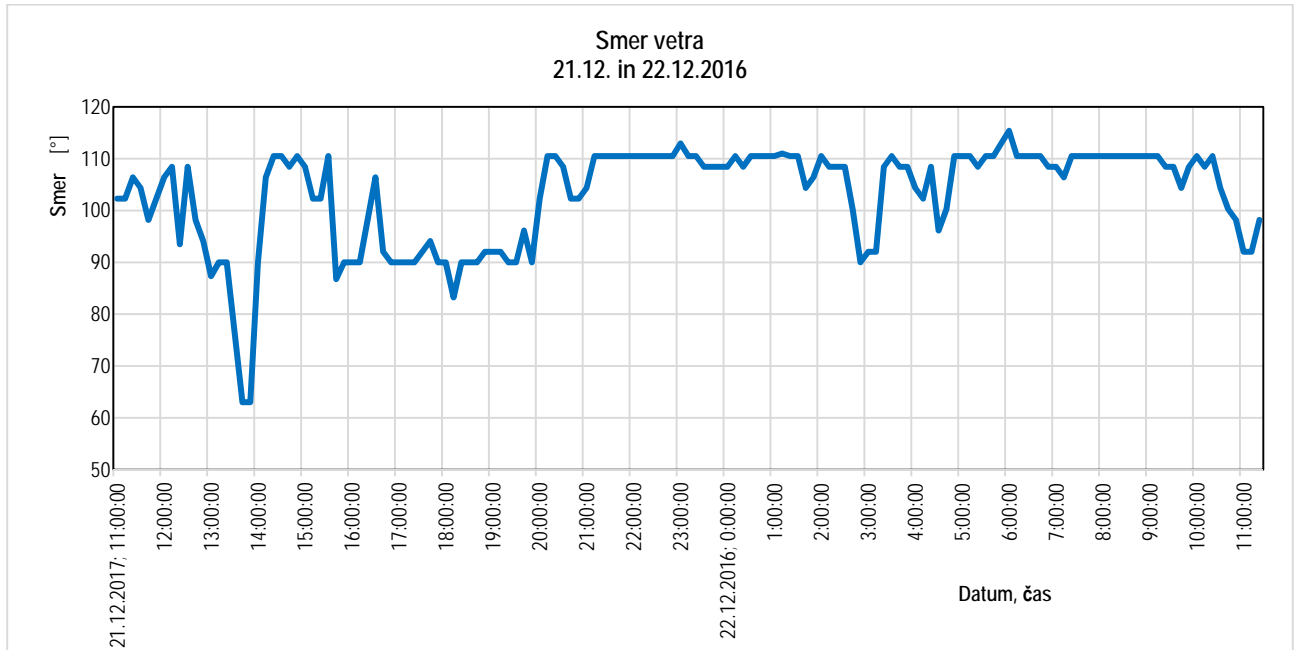
Vetrna elektrarna kot vir hrupa je nameščena na veliki višini (cca 100m), tako da pri razširjanju hrupa do najbližjih stanovanjskih stavb, ki so sicer na razdalji cca 880m, ni nobenih ovir, razen dokaj razgibanega terena, pokritega pretežno s travno rušo in manjšimi območji gozda (Slika 31).

Gostejši gozdni pasovi, ki bi lahko prispevali k večji zvočni absorpciji so prisotni šele na večjih oddaljenostih na severni in zahodni strani, kjer pa ni prisotnih za hrup občutljivih objektov.

T.10.1 METEOROLOŠKE RAZMERE V ČASU IZVAJANJA MERITEV VETRNE ELEKTRARNE VEDV15 V DOLENJI VASI

V času preiskav hrupa VE Dolenja vas so prevladovale naslednje meteorološke razmere.

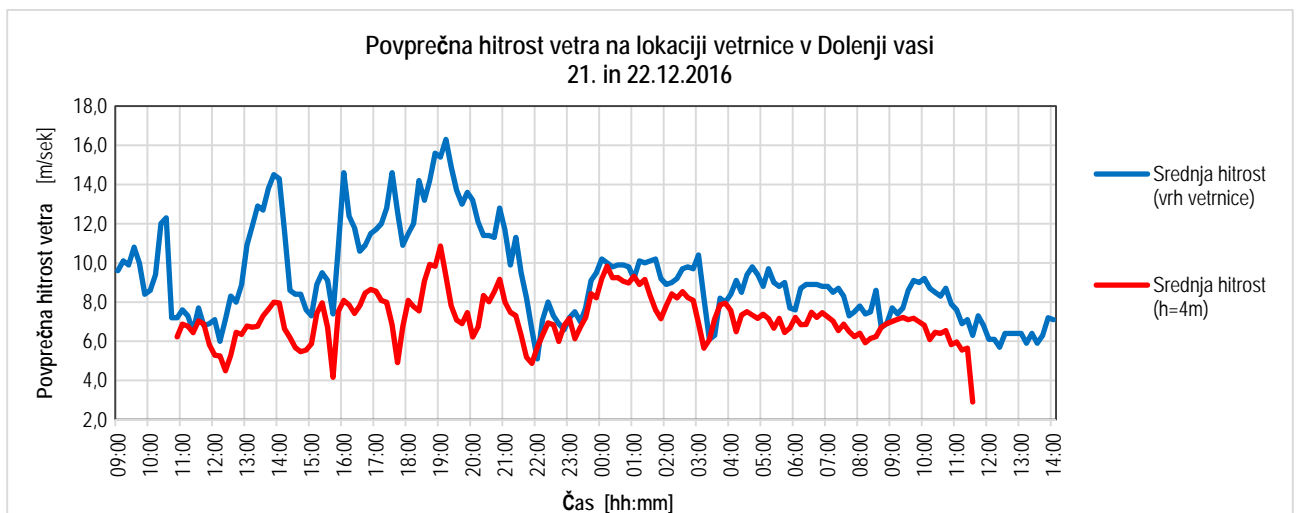
Izrazito vzhodni veter, kar je razvidno iz spodnje slike.

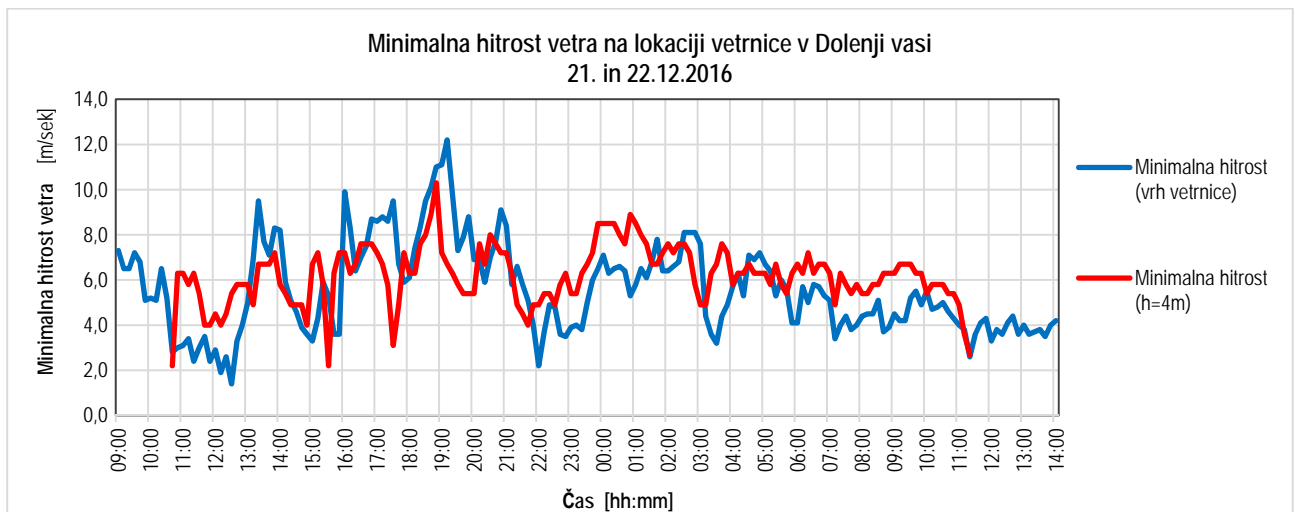
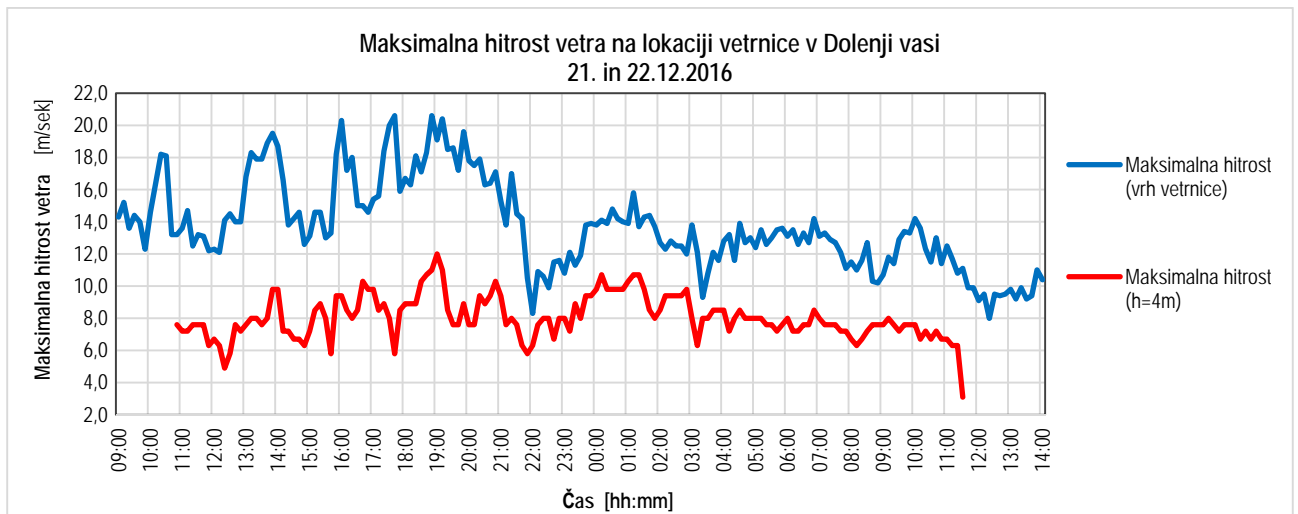


pri čemer je:

- 90° - vzhodnik,
- 180° - južni veter,
- 270° - zahodnik,
- 0, 360° - sever.

Slika 33: Smer vetra v času izvajanja meritev hrupa vetrne elektrarne v Dolenji vasi





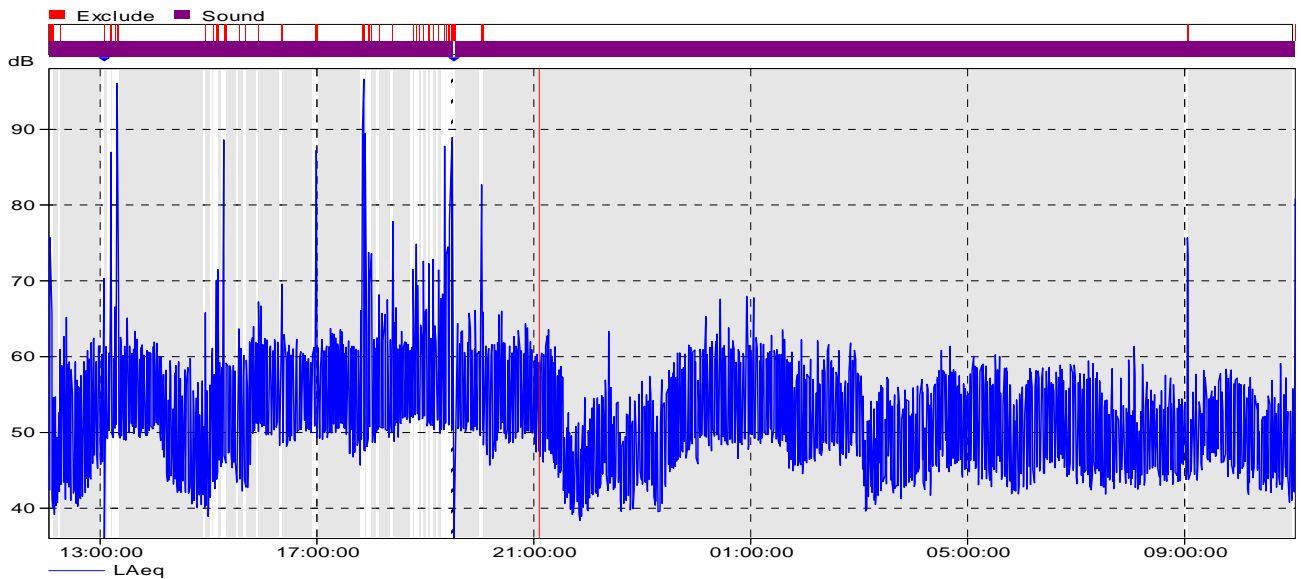
Slika 34: Jakost vetra (povprečje, Max, Min) v času izvajanja meritev hrupa vetrne elektrarne v Dolenji vasi za dve višini: H=98m in h=4m)

Grafi, ki jih prikazuje Slika 34 podajajo podatke za obdobja 10min. Podatki o hitrosti vetra na višini h=4m so pridobljeni na osnovi lastnih meritev, podatki za višino H=98m so pridobljeni od upravljalca vetrne elektrarne.

Tekom celotnega časa izvajanja meritev hrupa je bilo nebo povsem jasno, hitrosti vetra so vseskozi presegale 5 m/s. Takšne razmere ustvarjajo pogoje za pretežno nevtralno atmosfero, če jo ocenjujemo glede na stabilnostne pogoje.

T.10.2 IZVEDBA MERITEV HRUPA VETRNE ELEKTRARNE VEDV15 V DOLENJI VASI

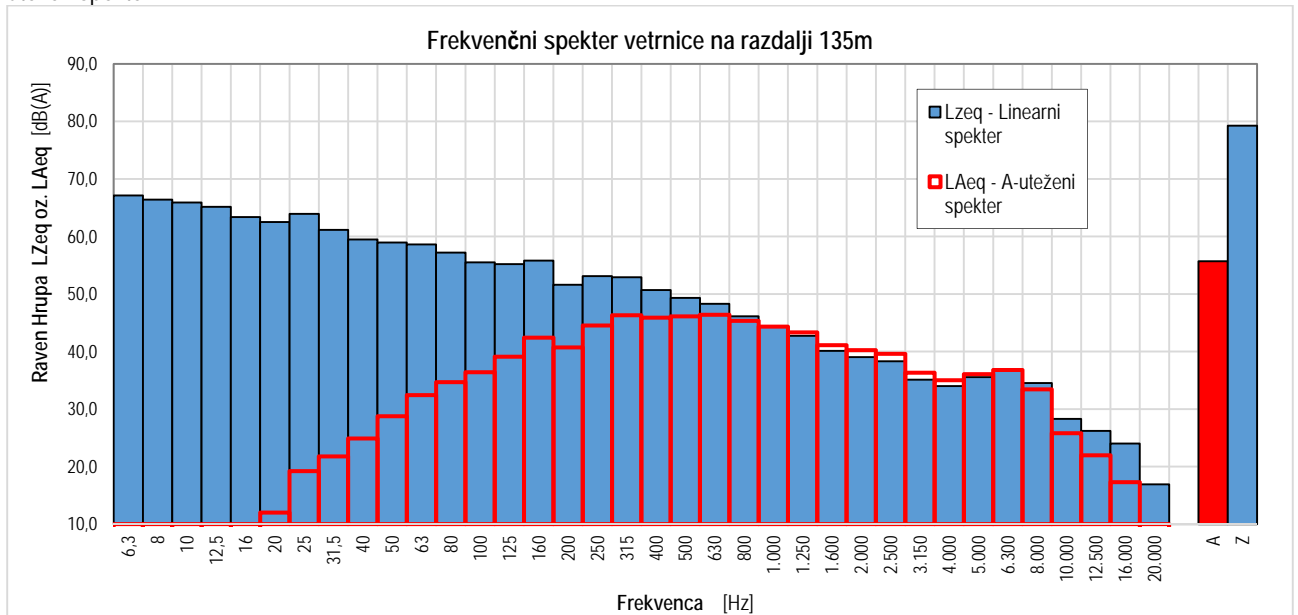
V dneh med 21.12. in 22.12 2016 so bile opravjene kontinuirane meritve hrupa v trajanju min. 24 ur, s simplirni frekvenco 100 msek, sočasno so merilniki zajemali zvok z dinamiko (Fast) in z dinamiko (Slow), kar je bilo potrebno zaradi določitve amplitudne modulacije, ki je opisana v poglavju T.5. Meritve hrupa so bile izvedene na način, da se je sočasno snemal tudi zvok, z namenom, da je bilo naknadno mogoče iz vzorca eliminirati hrupne vire, ki niso bili posledica obratovanja vetrne elektrarne. Kot dodatno so bile opravljene še kratkotrajne meritve ravni hrupa na 5. točki, ki leži v podaljšku veznice vetrna elektrarna – MM2 (Slika 31) na njeni dvakratni oddaljenosti. Mikrofoni z vetrno zaščito so bili pritrjeni na reflektirajočo površino, te pa položene horizontalno na tleh. Na ta način je bil minimiziran vpliv vetra na merilne mikrofone.



Slika 35: Časovni potek hrupa izmerjen na merilnem mestu MM3

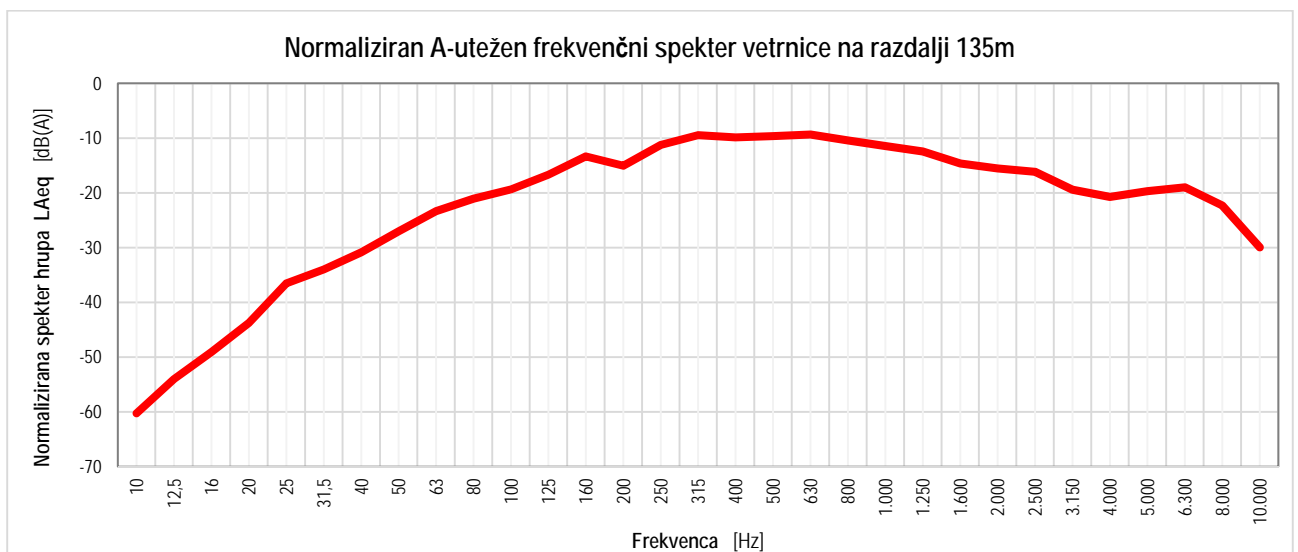
V času meritev hrupa vetrne elektrarne so bili prisotni tudi drugi viri hrupa, ki pa niso bili posledica obratovanja vetrne elektrarne v Dolenji vasi. Ker se je sočasno z meritvami hrupa zvok tudi snemal, so se motilni viri hrupa iz posnetega vzorca izbrisali, kar je prikazano tudi na zgornji sliki (op. Exclude oz. na grafu svetlejša območja).

Slika v nadaljevanju prikazuje tipičen frekvenčni spekter, enkrat prikazan kot linearen spekter brez kakršnih koli korekcij, drugič kot A-utežen spekter.



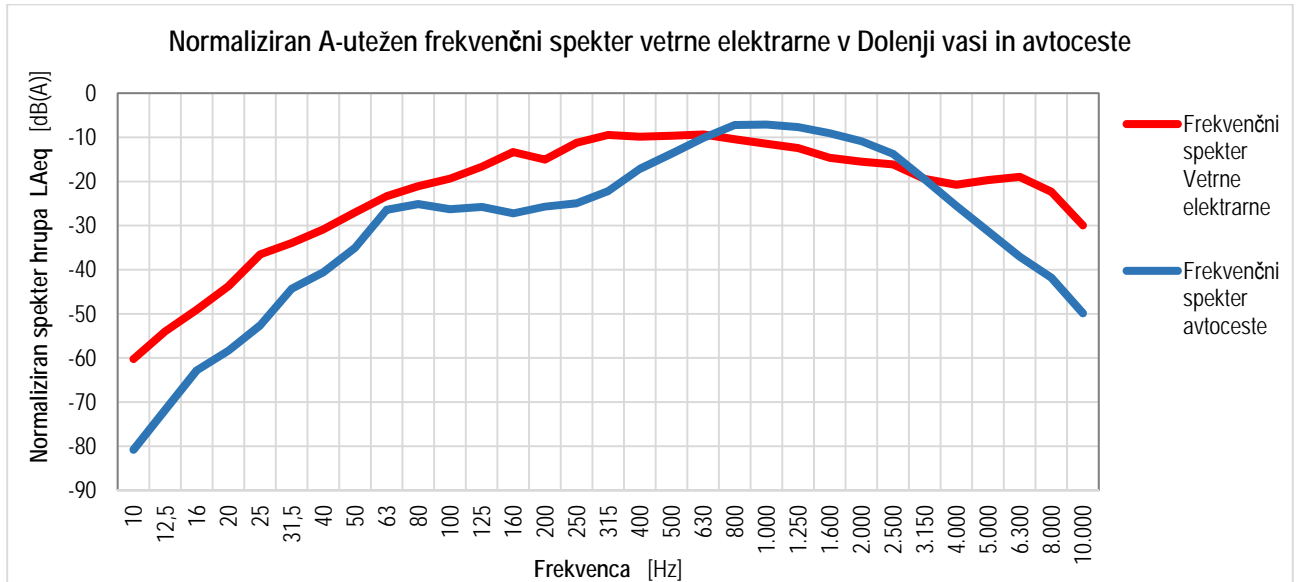
Slika 36: Tipičen frekvenčni spekter vetrnice v Dolenji vasi na razdalji 135m.

Spodnja slika prikazuje še normaliziran A-utežen frekvenčni spekter, pridobljen na način, da je energetski seštevek vseh terc enak 0.

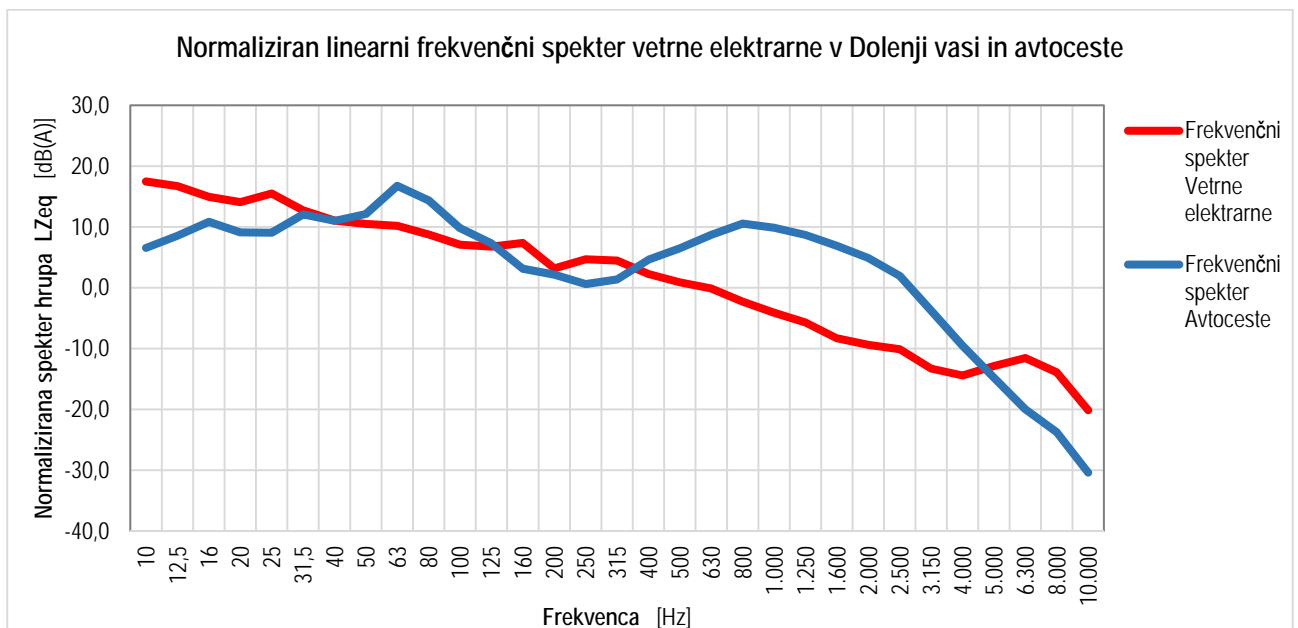


Slika 37: Normaliziran A-utežen frekvenčni spekter vetrnice v Dolenji vasi na razdalji 135m

Spodnji sliki prikazujeta primerjalno normalizirana frekvenčna spektra za vetrno elektrarno v Dolenji vasi in tipičen frekvenčni spekter hrupa cestnega prometa na avtocesti. Prva slika podaja primerjavo med spektroma z upoštevanjem A-filtra, druga slika prikazuje linearne spektre, vse normalizirano.



Slika 38: Normaliziran A-utežen frekvenčni spekter vetrne elektrarne v Dolenji vasi na razdalji 135m



Slika 39: Normaliziran A-utežen frekvenčni spekter vetrne elektrarne v Dolenji vasi na razdalji 135m

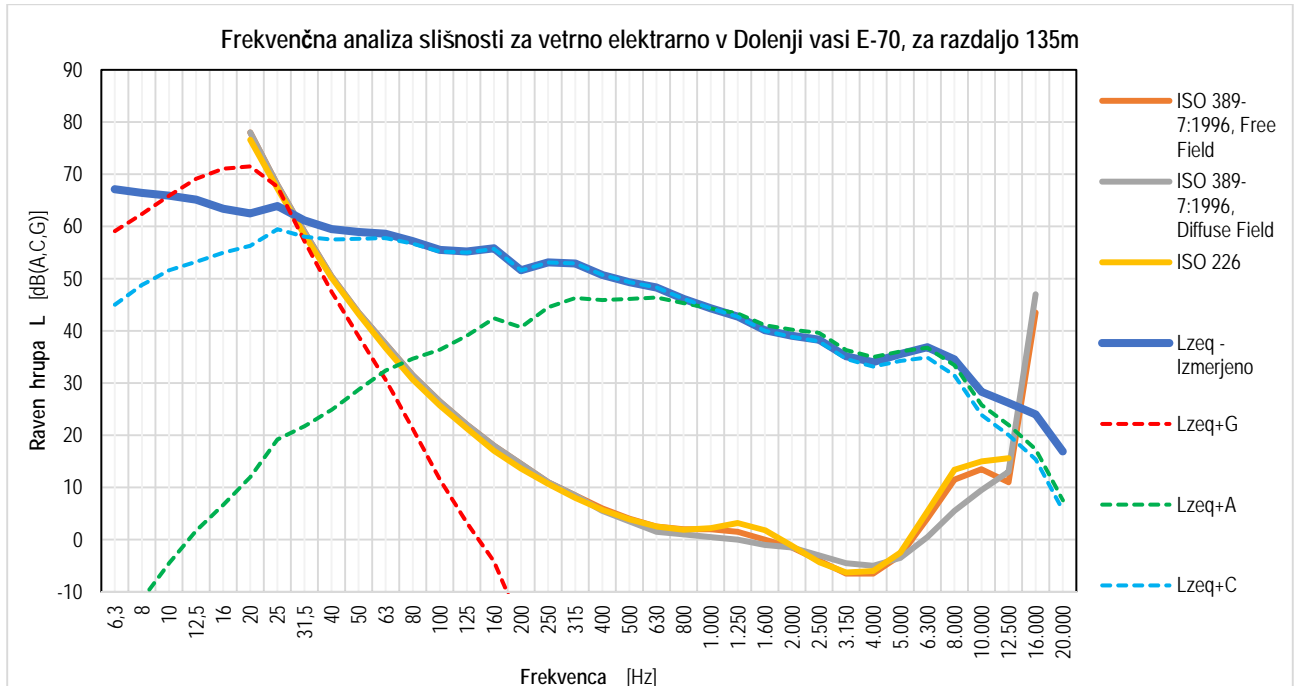
Iz zgornjih slik je razvidno, da ima vetrna elektrarna spodnji del frekvenčnega spektra nekoliko bolj bogat in sicer cca 20 dBA pri frekvenci 10 Hz oz cca 10 dBA pri frekvenci 50 Hz. V območju med cca 630 – 2.500 Hz pa je spekter cestnega prometa bolj izrazit.

Podobna slika je tudi v linearnem prikazu frekvenčnih spektrov, s to razliko da so razlike drugačne, kar je posledica normalizacije brez upoštevanja A-filtra. V območju med 10 Hz do 50 Hz je razhajanje spektrov med cca 12 dB do 0 dB. V območju med 400 Hz – 5.000 Hz je izrazito dominantnejši hrup cestnega prometa.

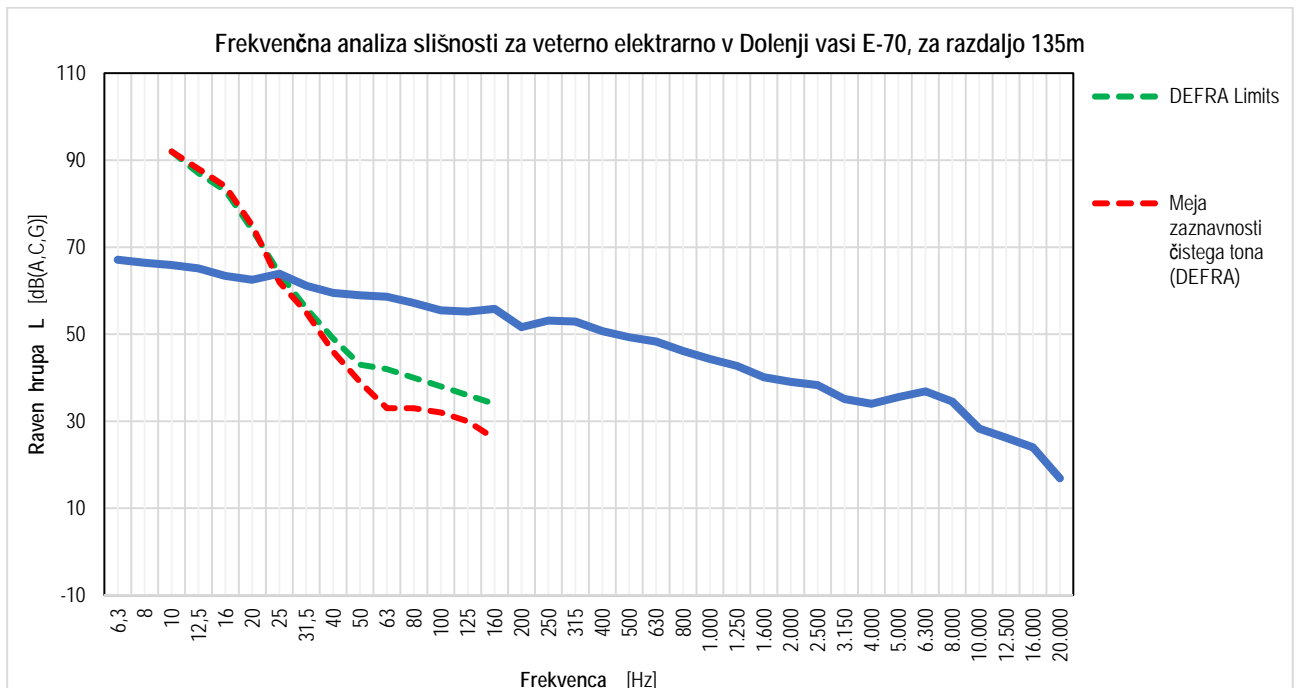
Slika 40 in Slika 41 prikazujeta frekvenčno analizo slišnosti za hrupnejšo uro in sicer 21.12.2016 med 16:00 in 17:00 uro, ko so veljali sledeči obratovalni pogoji:

- moč vetrne elektrarne [%]: min. 71 ÷ max. 99 %, oz. povprečno 84 %,
- hitrost vrtenja lopatic [1/min]: min. 14,7 ÷ max. 22,9 oz. povprečno 20,
- hitrost vetra [m/sek]: min. 6,4 ÷ max. 14,6 oz. povprečno 12.

OPOMBA: Ura 21.12.2016 med 16:00 in 17:00 je bila ena izmed glasnejših, ko je bil hrup vetrne elektrane zelo značilen in zaznaven.



Slika 40: Analiza slišnosti za vetrno elektrarno v Dolenji vasi na razdalji 135m, po standardih ISO 389 in ISO 226



Slika 41: Analiza slišnosti za vetrno elektrarno v Dolenji vasi na razdalji 135m, po priporočilih DEFRA

Slika 40 podaja sledeče rezultate. Na razdalji 135m, ob zatečenih pogojih, hrup obratovanja vetrne elektrarne v Dolenji vasi ni več zaznaven pod cca 30 Hz upoštevajoč standard ISO 389 in ISO 226, tudi v primeru ocenjevanja z upoštevanjem G-filtra. Podobne rezultate prikazuje tudi Slika 41, v kolikor ocenjujemo po priporočilih DEFRA-e. Hrup vetrne elektrarne v Dolenji vasi na razdalji 135m ob zatečenih pogojih naj ne bi bil več zaznaven pri frekvencah pod cca 25 Hz.

Glede na zahteve projektne naloge, da je potrebno podati rezultate glede na različne razrede hitrosti vetra, so bili temu primerno vsi rezultati statistično obdelani, da tako, da je razvidna zvočna moč vetrne elektrarne v Dolenji vasi glede na razrede hitrosti vetra. Navedeno prikazuje tabela v nadaljevanju.

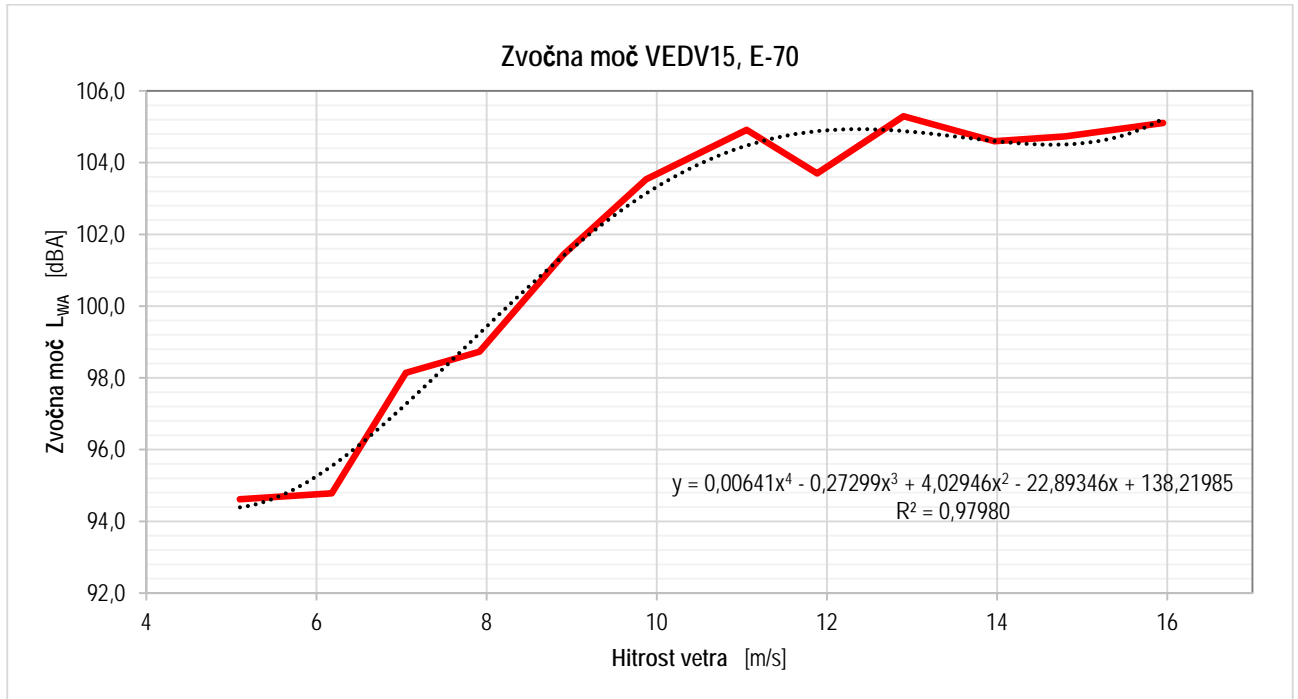
Tabela 8: Rezultati meritev hrupa vetrne elektrarne v Dolenji vasi v odvisnosti od hitrosti vetra ter moči obratovanja

Zap. št.	Izmerjena raven hrupa na merilnih mestih				Povpr. hitrost vetra [m/s]*	Hrup vetra ozadja [10] [m/s]**	MM2 – Korigirano na ozadje	Moč obrat. P [%]	Zvočna moč L _{WA} [dBA]
	MM1 LAeq [dBA]	MM2 LAeq [dBA]	MM3 LAeq [dBA]	MM4 LAeq [dBA]					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	44,6	45,3	46,6		5	30,4	45,2	7,6	94,6
2.	46,3	47,3	49,2		6	31,2	47,1	12,7	96,6
3.	47,6	48,8	48,9	49,4	7	32,3	48,7	19,0	98,2
4.	48,5	49,4	48,3	48,8	8	33,7	49,3	27,5	98,7
5.	51,2	52,1	50,9	49,6	9	35,8	52,0	40,8	101,4
6.	53,2	54,2	53,2	50,0	10	38,2	54,1	56,5	103,5
7.	54,9	55,6	54,8	53,2	11	41,5	55,5	70,7	104,9
8.	54,5	55,9	54,4	53,1	12	43,8	55,6	82,5	105,0
9.	55,6	56,3	55,3	54,3	13	46,6	55,9	91,8	105,3
10.	55,6	56,1	55,4	54,0	14	49,2	55,2	96,6	104,6
11.	56,0	56,6	55,4	54,9	15	50,9	55,3	99,0	104,7
12.	55,5	57,0	56,5		16	52,7	55,7	99,9	105,1

* Hitrost na višini rotorja

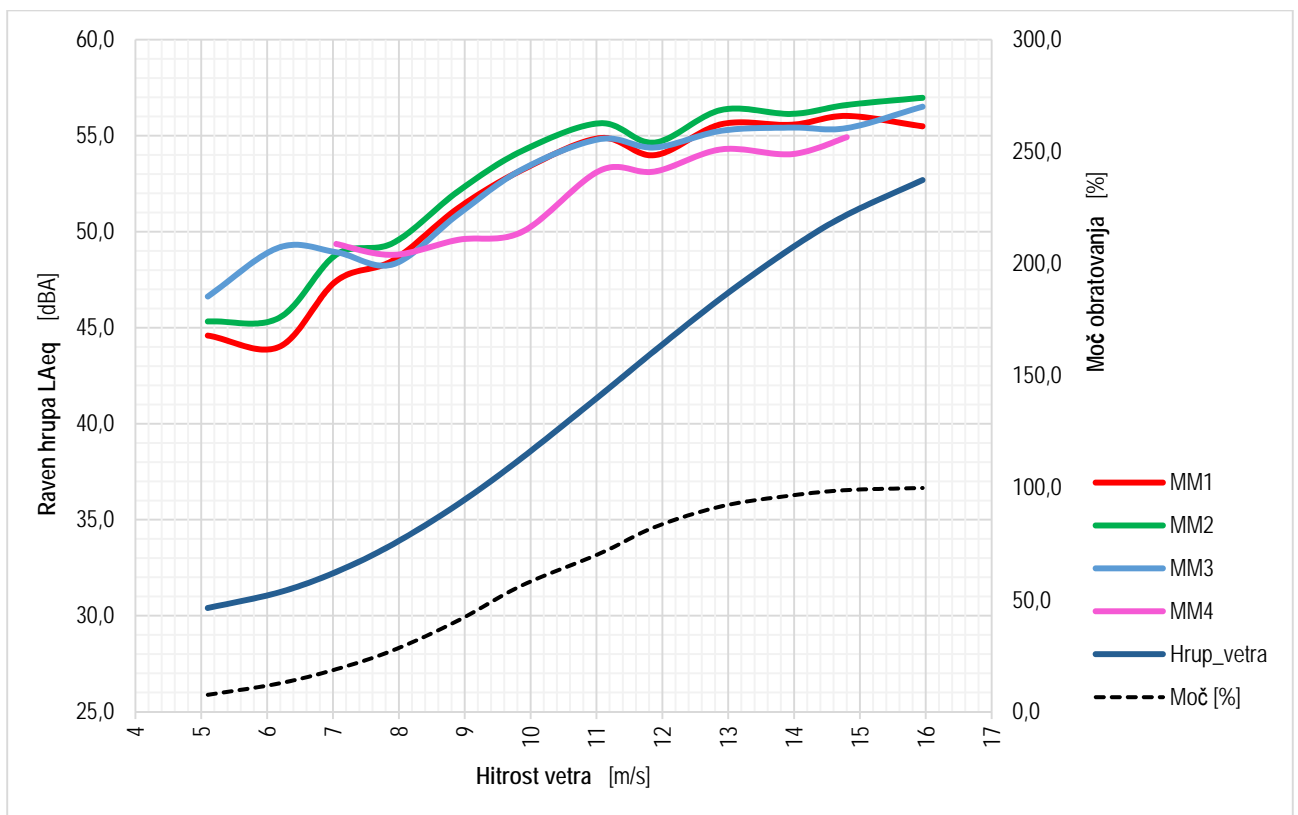
** Partially Exposed Position

Slika v nadaljevanju prikazuje na grafičen način zvočno moč vetrne elektrarne v Dolenji vasi, dobljeno na osnovi meritev hrupa glede na posamezne razrede hitrosti vetra.



Slika 42: Grafičen prikaz zvočne moči vetrne elektrarne v Dolenji vasi glede na hitrost vetra (na osnovi izvedenih meritev)

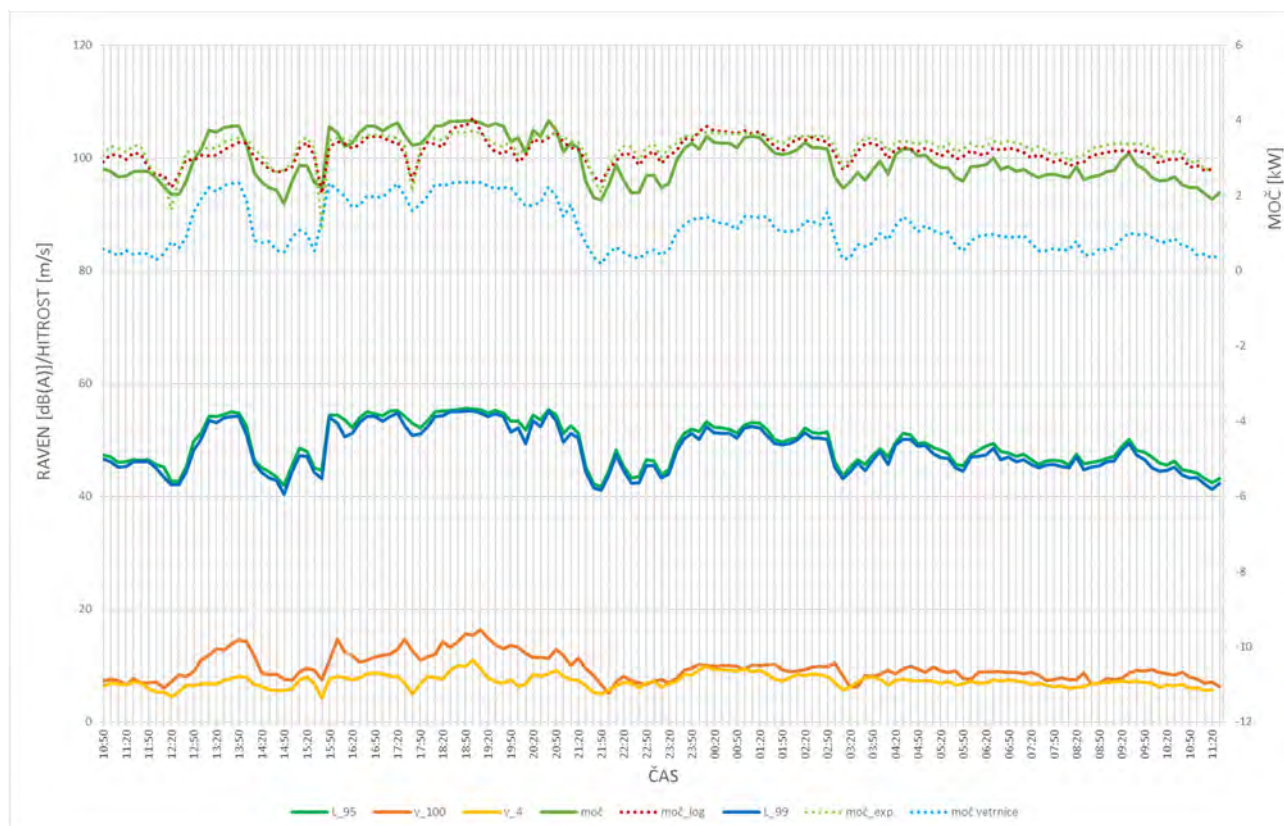
Na podoben način so prikazane tudi imerjene ravni hrupa LAeq na posameznih merilnih mestih v okolici vetrne elektrarne v Dolenji vasi glede na posamezne razrede hitrosti vetra. Dodatno je na grafu še prikazana moč vetrne elektrarne v procentih glede na hitrost vetra.



Slika 43: Grafičen prikaz ravni hrupa vetrne elektrarne na merilnih mestih, moči obratovanja, vse glede na hitrost vetra

OPOMBA: Velja pa omeniti, da pri zgoraj prikazanih rezultatih ni upoštevana amplitudna modulacija. Le-ta je za konkretne meritve na merilnih mestih podana v nadaljevanju.

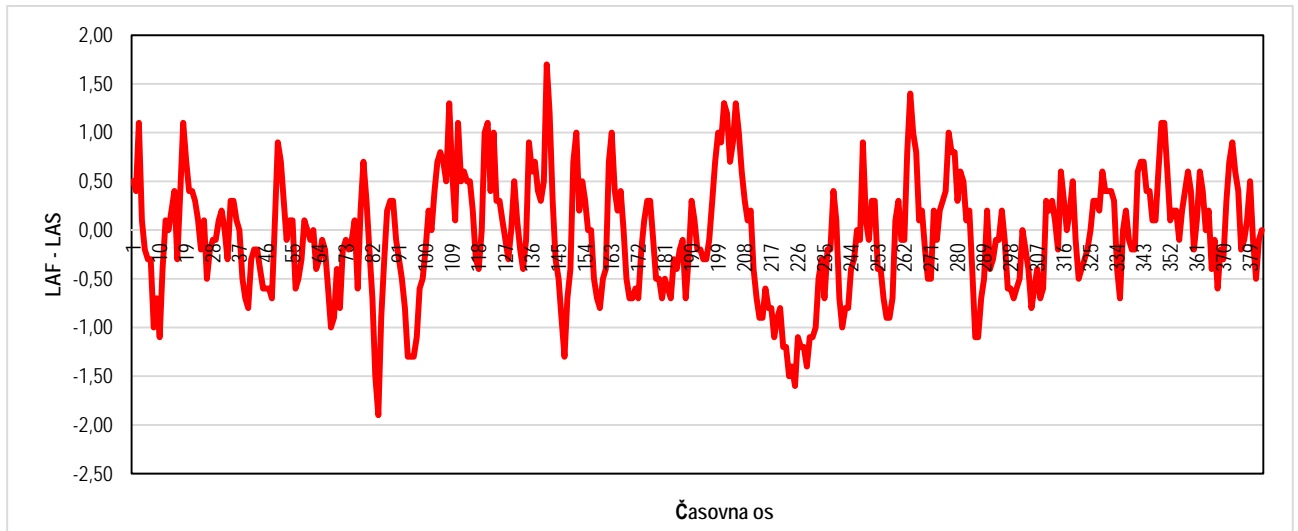
Slika v nadaljevanju, še na drugačen način prikaže raven hrupa v času izvajanja meritev v odvisnosti od trenutne moči vetrne elektrarne VEDV15 v Dolenji vasi.



Slika 44: S polno svetlozeleno črto je predstavljena zvočna moč v odvisnosti od časa, izračunana iz izmerjenih ravni L_{95} , v dB in popravljenih na osnovi modulatorskega faktorja. Rdeča črtkana črta predstavlja zvočne moči (v dB) v odvisnosti od časa, izračunane iz hitrosti vetra na višini 4 m z logaritemsko funkcijo. Zelena črtkana črta predstavlja zvočne moči v odvisnosti od časa, izračunane iz hitrosti vetra na višini 4 m ter eksponentne prilagoditvene funkcije. Z modro pikčasto črto je označen časovni potek obratovalne moči VE 15 v kW, po ordinatni skali na desni strani diagrama (op. vir: ZVD)

T.10.2.1 Amplitudna modulacija v času izvajanja meritev hrupa

Amplitudna modulacija, podrobneje obrazložena v poglavju T.5 je na grafičen način prikazana razlika LAF in LAS kot prikazuje slika v nadaljevanju.



Slika 45: Primer grafičnega prikaza amplitudne modulacije v krajšem časovnem obdobju (vir: merilno mesto MM3)

Za posamezna merilna mesta MM1, MM2, MM3 (Slika 31) so za obdobje izvajanja kontinuiranih meritev hrupa s sočasnim zajemanjem podatkov z dinamikama "Fast" in "Slow" izračunani parametri amplitudne modulacije izražene v dBA. Amplitudna modulacija je dejansko dodatna motnja, zaradi česar je vrednost le-te potrebno prišteti, ki rezultatom, ki jih prikazuje Tabela 8, v stolpcih 1 ÷ 3.

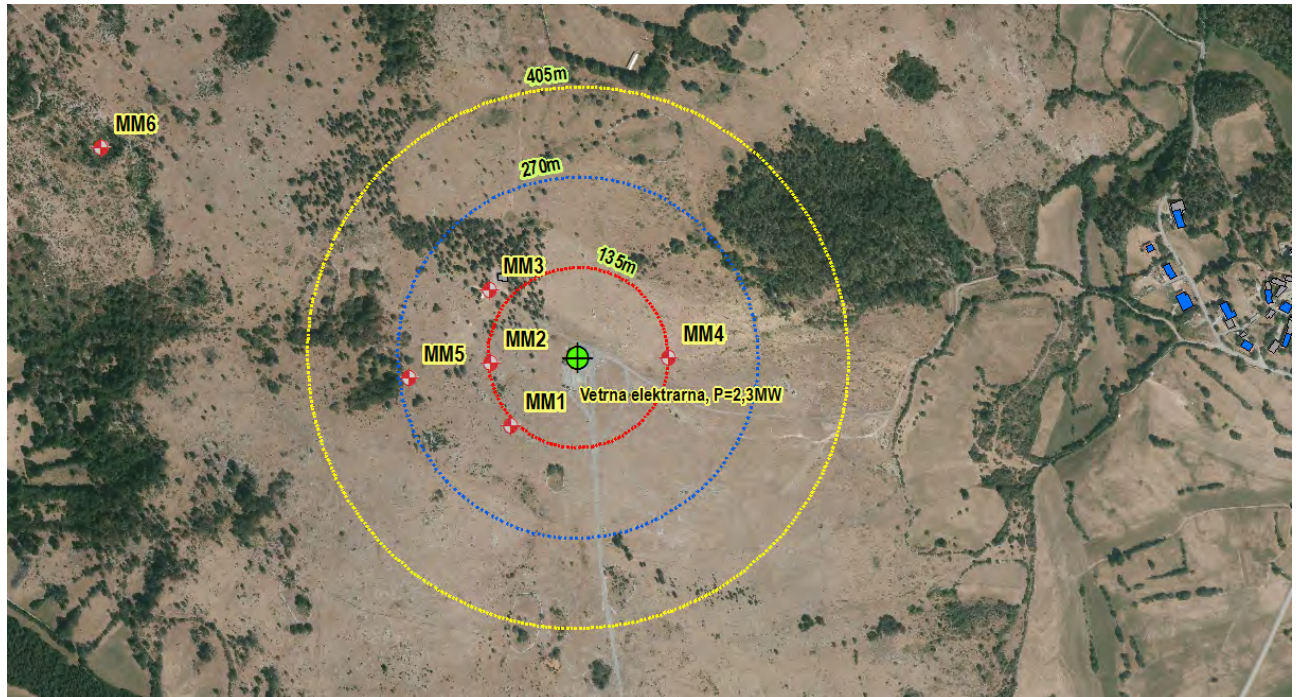
Tabela 9: Izračun amplitudne modulacije na merilnih mestih v času izvajanja kontinuiranih meritev hrupa za veterno elektrarno v Dolenji vasi

Percentili oznaka	Merilno mesto MM1		Merilno mesto MM2		Merilno mesto MM3	
	Statistika za LAF,100ms [dBA]	Statistika za LAF-LAS [dBA]	Statistika za LAF,100ms [dBA]	Statistika za LAF-LAS [dBA]	Statistika za LAF,100ms [dBA]	Statistika za LAF-LAS [dBA]
L1	58,2	2,0	58,7	1,6	58,5	2,0
L3	57,4	1,5	57,9	1,2	57,3	1,5
L5	56,9	1,2	57,5	1,0	56,7	1,3
L10	56,2	0,9	56,8	0,7	55,8	0,9
L20	55,1	0,5	55,8	0,4	54,7	0,5
L30	53,7	0,3	54,7	0,2	53,7	0,3
L40	52,1	0,1	53,3	0,1	52,5	0,1
L50	50,5	-0,1	51,7	-0,1	51,1	-0,1
L90	43,9	-1,1	45,4	-0,8	45,8	-1,1
L95	42,8	-1,4	44,0	-1,1	44,5	-1,4
L99	41,1	-2,1	42,3	1,6	42,2	-2,1
Amplitudna modulacija L5-L95 [dBA]	2,6		2,1		2,7	

OPOMBA: Velja pa omeniti, da je amplitudna modulacija, podana v zgornji tabeli, določena na osnovi rezultatov meritev na razdalji merilnih mest od veterne elektrarne 135m, kar pa ne pomeni, da je v isti velikosti prisotna tudi na večjih razdaljah. Dejstvo namreč je, da z razdaljo raven hrupa veterne elektrarne pojenja, lokalno pa je pri stanovanjskih stavbah prisoten hrup zaradi vetra, ki hrup vetrne elektrarne do določene mere maskira. Zaradi navedenega je potrebna velika previdnost, pri določanju količine upoštevanje amplitudne modulacije pri vrednotenju vpliva hrupa vetrnih elektrarn

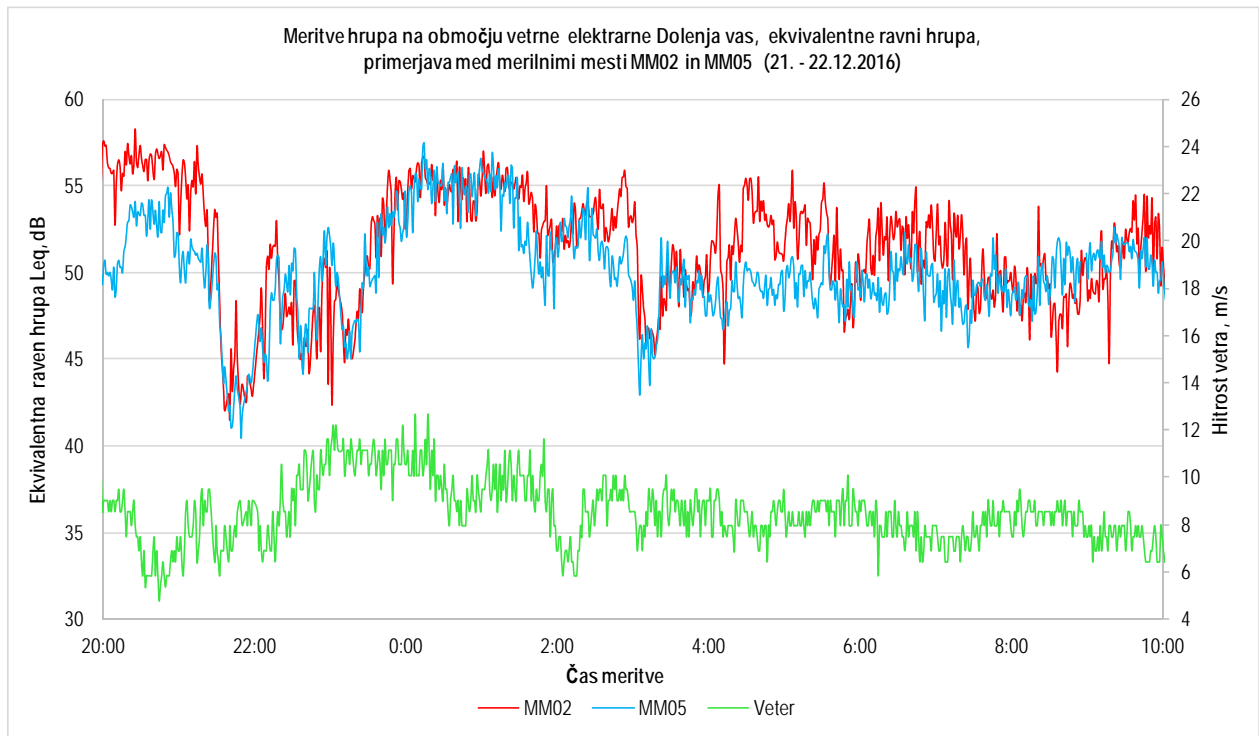
T.10.2.2 Način izvedbe meritev hrupa za določitev vpliva vetra

Vetrne elektrarne v Dolenji vasi v času meritev hrupa niso izklapljali. Za določitev nivoja ozadja zaradi vpliva vetra je bila za ta namen izvedena dodatna meritev hrupa na merilnem mestu MM05. Merilno mesto je bilo glede na vetrno elektrarno locirano v isti smeri vetra kot merilno mesto MM02, na lokaciji s približno enakim ozadjem in je od vira oddaljena za približno dvojno razdaljo kot točka MM02. Oznaka merilnih mest in njihov položaj glede na vetrno elektrarno prikazuje Slika 46.



Slika 46: Časovni potek minutnih ekvivalentnih ravni hrupa in hitrosti vetra na merilnih mestih MM02 in MM05

Primerjava minutnih ekvivalentnih ravni hrupa med merilnima mestoma MM02 in MM05 ter hitrosti vetra na višini 10 m od tal je prikazana na Slika 47. Iz slike je razvidno, da je v splošnem razlika med nivoji hrupa na obeh merilnih večjih večja pri nižjih hitrostih vetra, kar je posledica vpliva obratovanja vetrne elektrarne. Pri hitrosti vetra nad 10 m/s pa je razlika zanemarljiva, hrup vetrne elektrarne ne presega ravni ozadja, ki je posledica vpliva vetra.



Slika 47: Časovni potek minutnih ekvivalentnih ravni hrupa in hitrosti vetra na merilnih mestih MM02 in MM05

Pri upoštevanju upadanje ravni hrupa za 6 dB pri podvojitvi oddaljenosti, kot je običajno za sferično razširjanje, so bile na podlagi razlik ravni hrupa na merilnih mestih MM02 in MM05 izračunane vrednosti hrupa ozadja zaradi vetra. Enačbe po katerih smo izračunali hrup ozadja so podane v poglavju T.4.1. Rezultati so podani v spodnji tabeli.

Tabela 10: Raven ozadja zaradi vpliva vetra na skupno obremenitev s hrupom

Veter, hitrost [m/s]	Ozadje, LAeq [dBA]	Moč vetrne elektrarne P* [%]	Zvočna moč vetrne elektrarne L _{WA} * [dBA]
6	45,7	13	96,6
7	46,2	19	98,2
8	46,9	28	98,7
9	47,7	41	101,4
10	49,1	57	103,5
11	/	/	/

* podatki, ki jih podaja Tabela 8

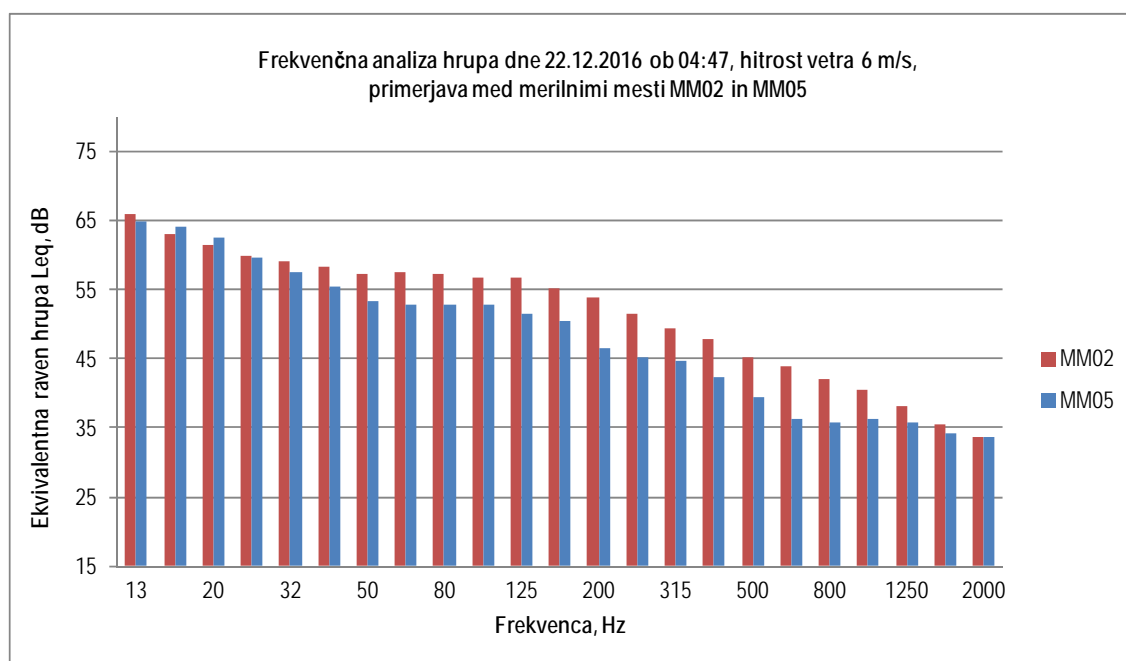
Iz rezultatov v zgornji tabeli je razvidno, da se z naraščanjem hitrosti vetra večja tudi vpliv ozadja. Pri hitrosti vetra med 6 in 8 m/s je raven ozadja okrog 46 dBA, pri hitrostih vetra 10 m/s pa okrog 50 dBA. Pri višjih hitrosti hrup vetrne elektrarne večinoma več ne presega ravni ozadja, zaradi tega vpliva zaradi vetra ni več možno določiti.

T.10.2.3 Frekvenčna porazdelitev

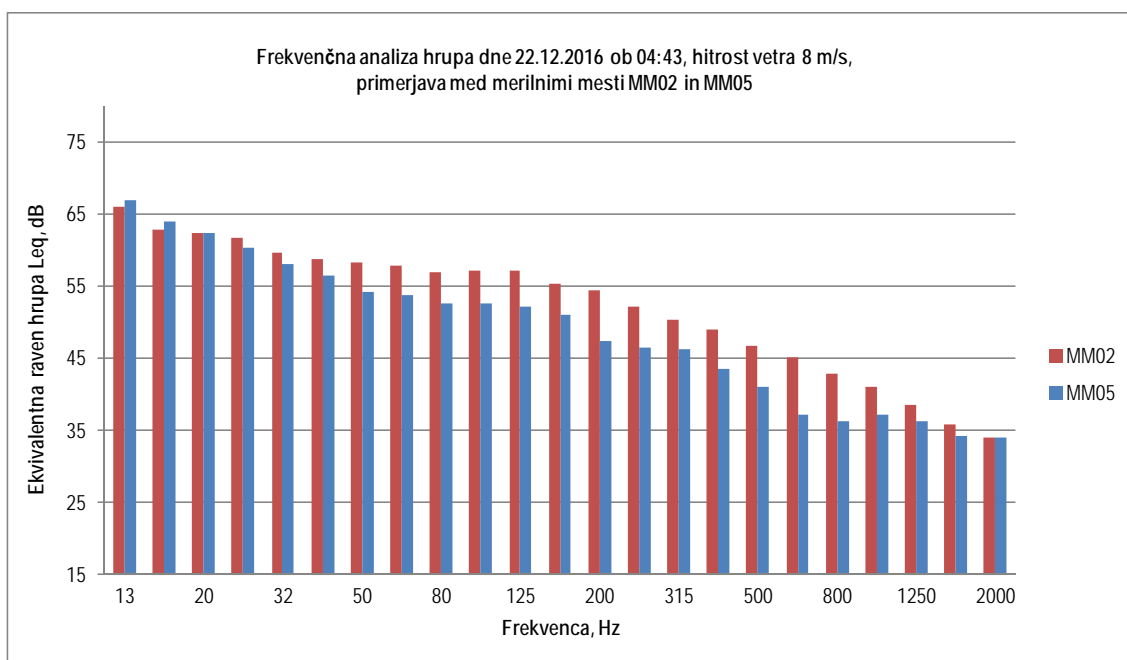
Primerjava frekvenčne porazdelitve rezultatov enominutnih meritev hrupa na merilnih mestih MM02 in MM05 je bila izvedena za hitrosti vetrov 6, 8 in 10 m/s. Podatke o meritvah hrupa prikazuje Tabela 11, karakteristični primer primerjave frekvenčne porazdelitve za hitrost vetra 6 m/s prikazuje Slika 48, za hitrost vetra 8 m/s Slika 49 ter Slika 50 za hitrost vetra 10 m/s.

Tabela 11: Primerjava ekvivalentnih hrupa L_{faeq} na merilnih mestih MM02 in MM05 pri hitrostih vetra 6, 8 in 10 m/s

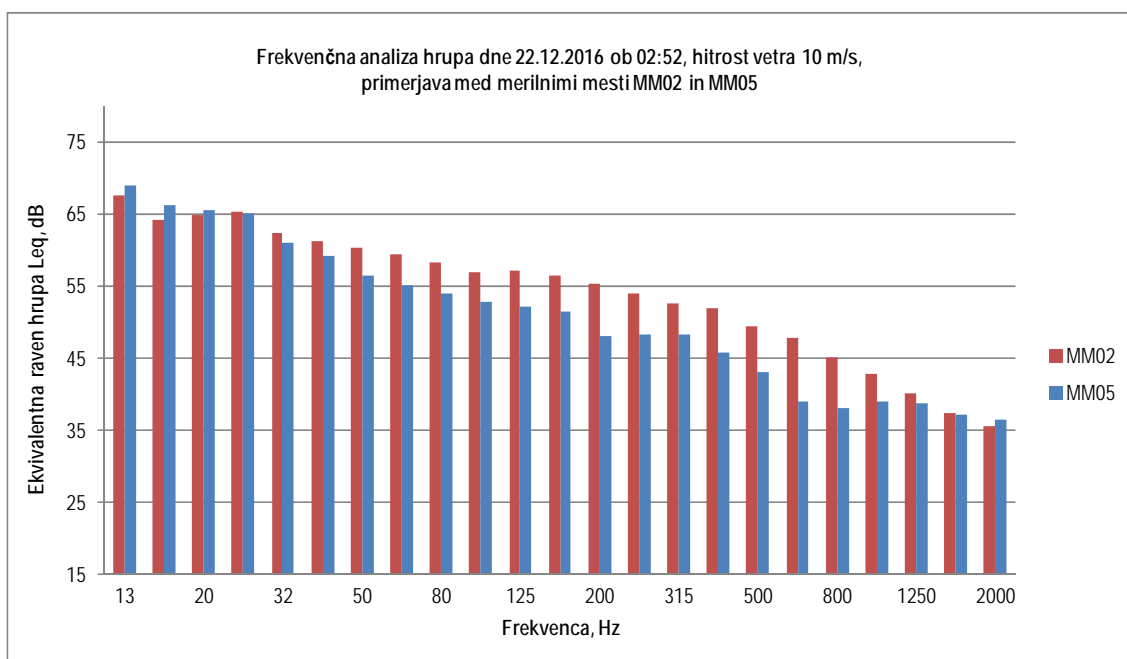
Datum	Trajanje	Hitrost vetra [m/s]	MM02 [dBA]	MM05 [dBA]	Razlika [dBA]
22.12.2016	4:47 – 4:48	6	52,8	48,1	4,7
22.12.2016	4:43 – 4:44	8	53,6	48,9	4,7
22.12.2016	2:52 – 2:53	10	55,5	50,7	4,8



Slika 48: Primerjava frekvenčne porazdelitve ravni hrupa med merilnimi mesti MM2 in MM5 pri hitrosti vetra 6 m/s



Slika 49: Primerjava frekvenčne porazdelitve ravni hrupa med merilnimi mesti MM2 in MM5 pri hitrosti vetra 8 m/s



Slika 50: Primerjava frekvenčne porazdelitve ravni hrupa med merilnimi mesti MM2 in MM5 pri hitrosti vetra 10 m/s

Merilno mesto MM05 je bilo od vetrne elektrarne oddaljeno za dvakratnik oddaljenosti MM02, postavljeno pa je bilo na isti osi v smeri vetra. Razlike ekvivalentnih ravni hrupa na merilnih mestih MM2 in MM5 pri posameznih hitrosti vetra so tudi do 5 dBA (Tabela 11), iz primerjave frekvenčne porazdelitve ravni hrupa (Slika 48, Slika 49, Slika 50) pa je razvidno, da so razlike največje v frekvenčnem območju med 32 in 2.000 Hz.

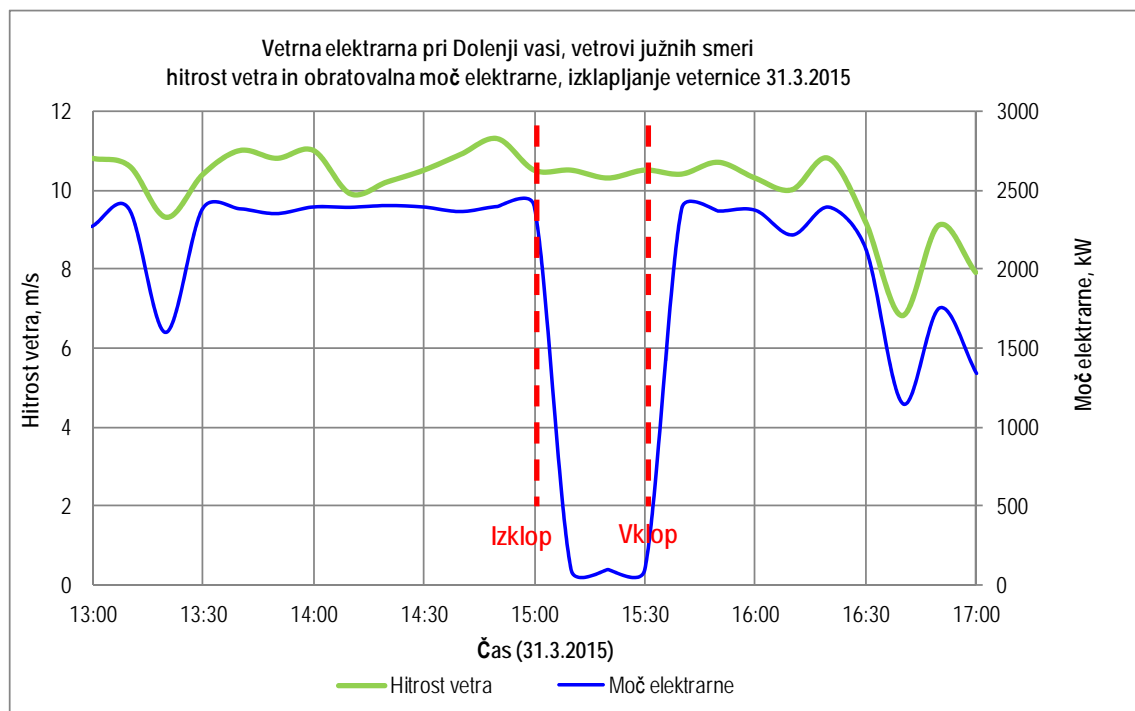
Pri frekvencah pod 20 Hz so razlike v izmerjenih vrednostih praktično zanemarljive, kar kaže, da nizkofrekvenčni hrup z razdaljo pade počasneje kot pa zvok v običajnem slišnem območju. Iz frekvenčne porazdelitve ravni hrupa pa pri nobeni hitrosti vetra v nizkofrekvenčnem območju ter v območju infrazvoka niso bili ugotovljeni poudarjeni ali izstopajoči toni.

T.10.3 OZKOPASOVNA FREKVENČNA ANALIZA HRUPA (FTT)

Meritve hrupa za potrebe ozko pasovne frekvenčne FFT analize so bile izvedene pri najbližji stavbi varovanimi prostori v Dolenji vasi - Dolenja vas 34B v okvir naloge Prvo ocenjevanje hrupa za Vetrna elektrarna v Dolenji vasi (VEDV15) (Epi Spektrum d.o.o., št. 2014-029/MEHR, maj 2015). Meritve hrupa za potrebe FFT analize so obsegale meritve skupne obremenitve ter meritve za določitev prispevka vetrne elektrarne k skupni obremenitvi pri največji moči vetrne elektrarne (op, ob izklapljanju vetrne elektrarne). Izvedene so bile pri največji moči vetrne elektrarne; med meritvami je bilo obratovanje vetrne elektrarne prekinjeno in na ta način določen prispevek elektrarne k skupni obremenitvi. Pri izvedbi meritev je bilo upoštevano naslednje:

- FFT analiza je bila izvedena v frekvenčnem območju med 5 in 40 Hz.
- stavba Dolenja vas 34B leži 880 m SV od vetrne elektrarne, zato so tudi meritve potekale pri jugozahodnih vetrovih,
- meritve hrupa za določitev prispevka vetrne elektrarne k skupni obremenitvi so potekale pri največji moči vetrne elektrarne.

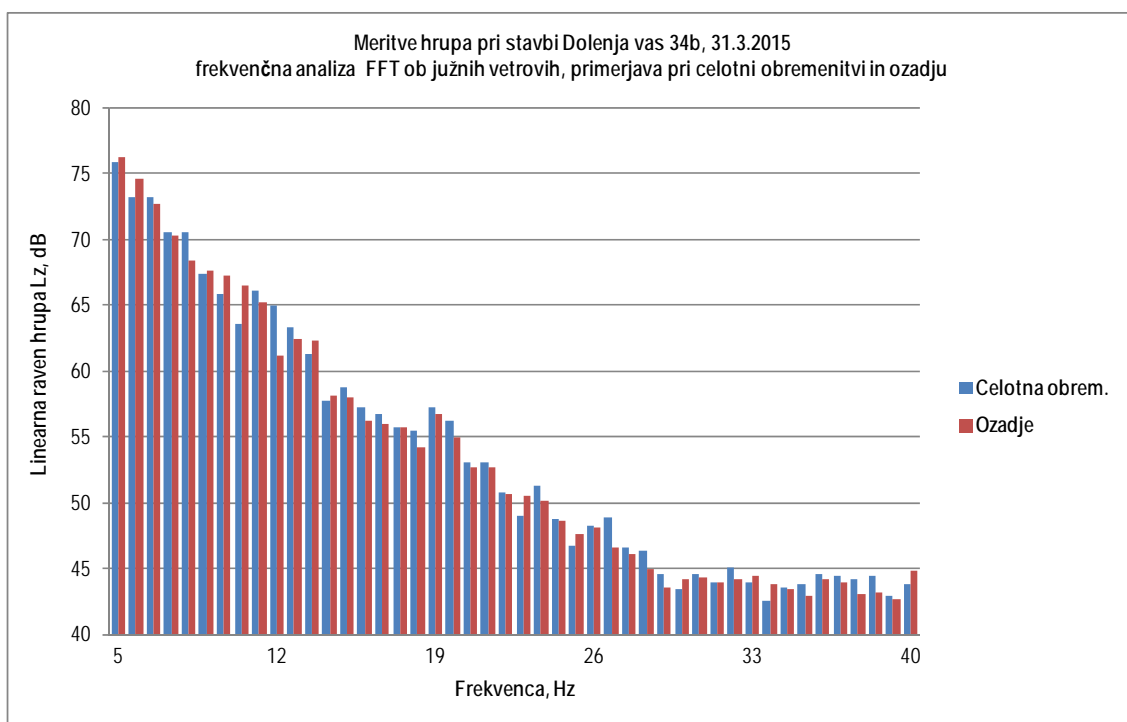
Meritve hrupa za potrebe FFT analize so potekale dne 31.03.2015 pri vetrovih južnih smeri od 13:00 do 18:45. Izklon elektrarne med meritvijo je bil izveden med 15:00 in 15:30 uro. Podatki o vetrovnih razmerah ter obratovalni moči in številu obratov vetrne elektrarne VEDV15 v času meritev je posredoval upravljavec elektrarne AAE d.o.o. Slika 51 prikazuje graf hitrosti vetra ter dosežene moči vetrne elektrarne v času izklapljanja vetrne elektrarne.



Slika 51: Hitrost vetra in obratovalna moč vetrne elektrarne v času izklapljanja vetrnice 31.03.2015

V obdobju meritev 31.03.2015 je pihal južni veter hitrosti med 7 in 11 m/s, vetrna elektrarna je v tem obdobju obratovala z močjo med 1,2 in 2,4 MW; iz slike je razvidno, da je polno moč dosegala ravno v času pred izklonom. Pri polni moči je število obratov vetrnice dosegalo med 20 in 24 obratov na minuto.

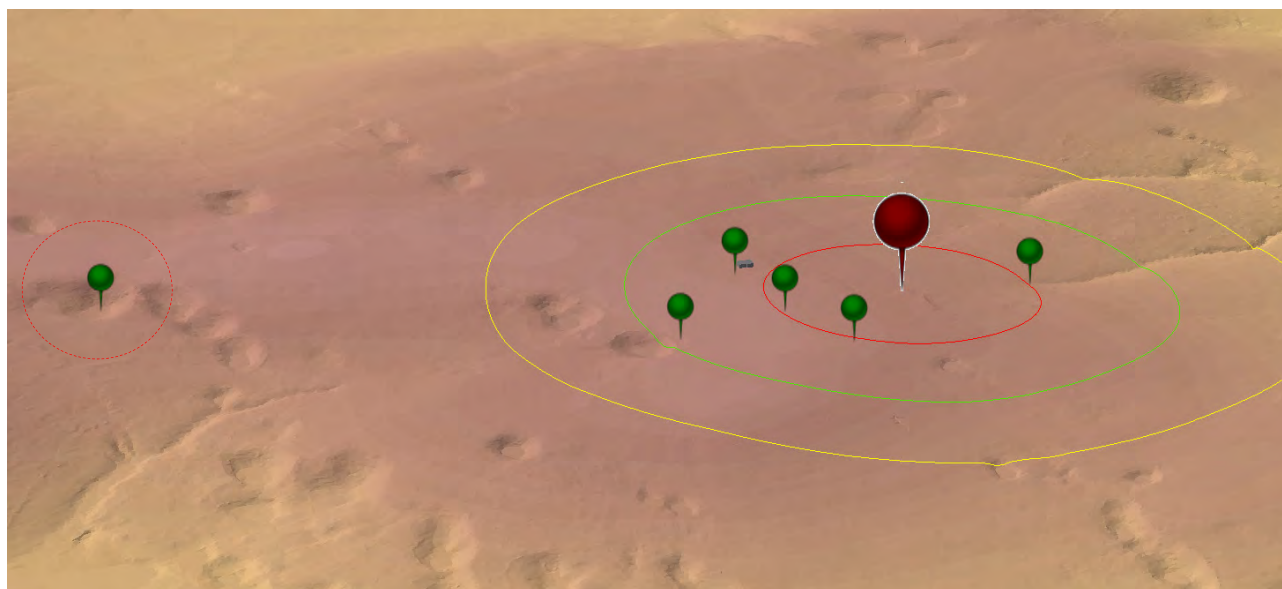
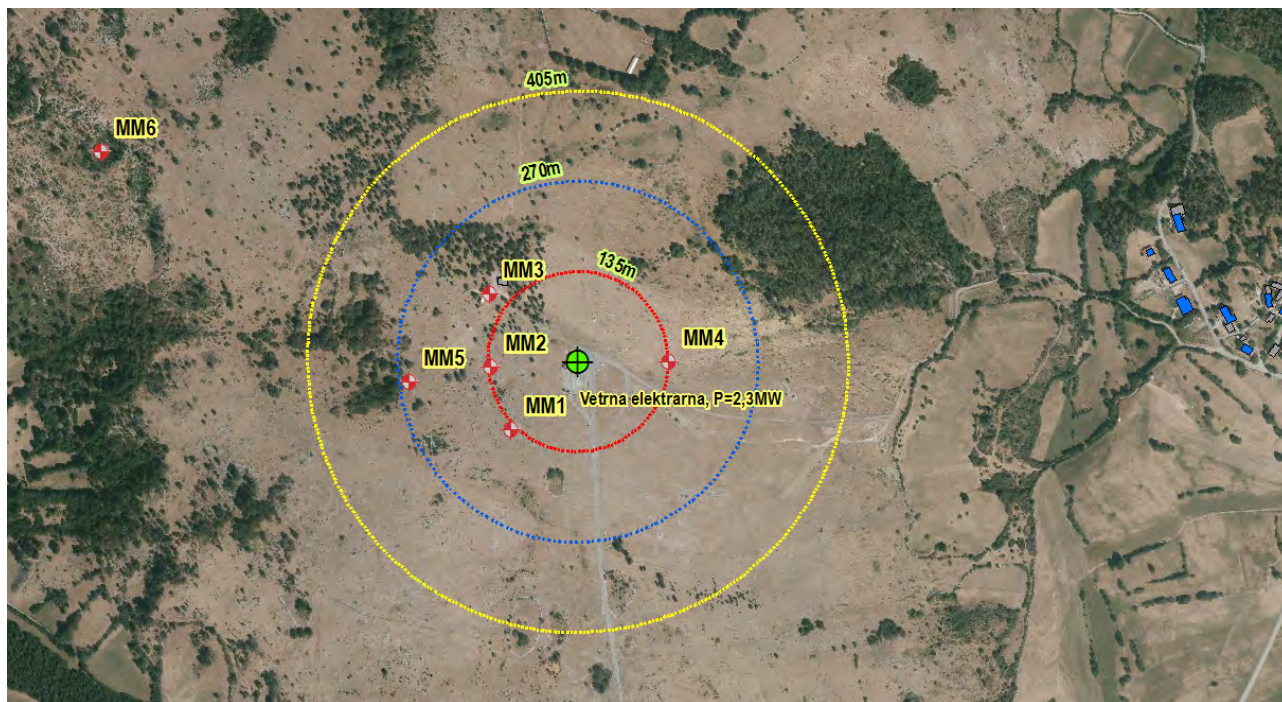
Grafični prikaz FFT analize podaja Slika 52 v času obratovanja elektrarne in v času izklona kaže, da tudi v nizkofrekvenčnem območju spektra hrupa ni poudarjenih tonov ali bistvenih razlik med izmerjenimi vrednostmi v obdobjih med obratovanjem in izklonom vetrne elektrarne.



Slika 52: Primerjava FFT analize v času obratovanje vetrne elektrarne in po njenem izklopu (ozadje) dne 31.3.2015 med 15:20 in 15:40 (južni vetrovi)

T.10.4 MERITEV HRUPA NA LOKACIJI, KI JE ZAŠČITENA PRED HRUPOM OZADJA

Na SZ strani, na razdalji cca 780 je bila najdena vrtača globine min. 8m, v kateri je hrup vetra minimiziran, zato je lokacija primerna za meritve neposrednega vpliva vetrne elektrarne. Slika 53 prikazuje lokacije merilnih mest, tudi MM6 na SZ.



Slika 53: Položaj merilnega mesta MM6 v vrtači

Zaradi konfiguracije terena okrog te vrtače je razširjanje hrupa iz vetrne elektrarne vanjo skoraj nemoteno. Po drugi strani je ta vrtača zaščitena pred vplivi drugih hrupnih virov, tako da je vpliv hrupa ozadja v njej majhen.

Tabela 12: Meritve hrupa v vrtači z zelo nizkim ozadjem, den 23.12.2016

Čas meritve	10:08	10:10	10:11	10:19
L _{Aeq} [dBA]	40,8	40,1	40,1	41,3

OPOMBA: Glede na dejstvo, da je vrtača relativno dobro zaščitena pred vetrom, bi lahko za približno oceno dejali, da je izmerjene ravni hrupa mogoče pripisati obratovanju vetrne elektrarne.

T.11 PRIPOROČILA ZA NADALJNJE DELO

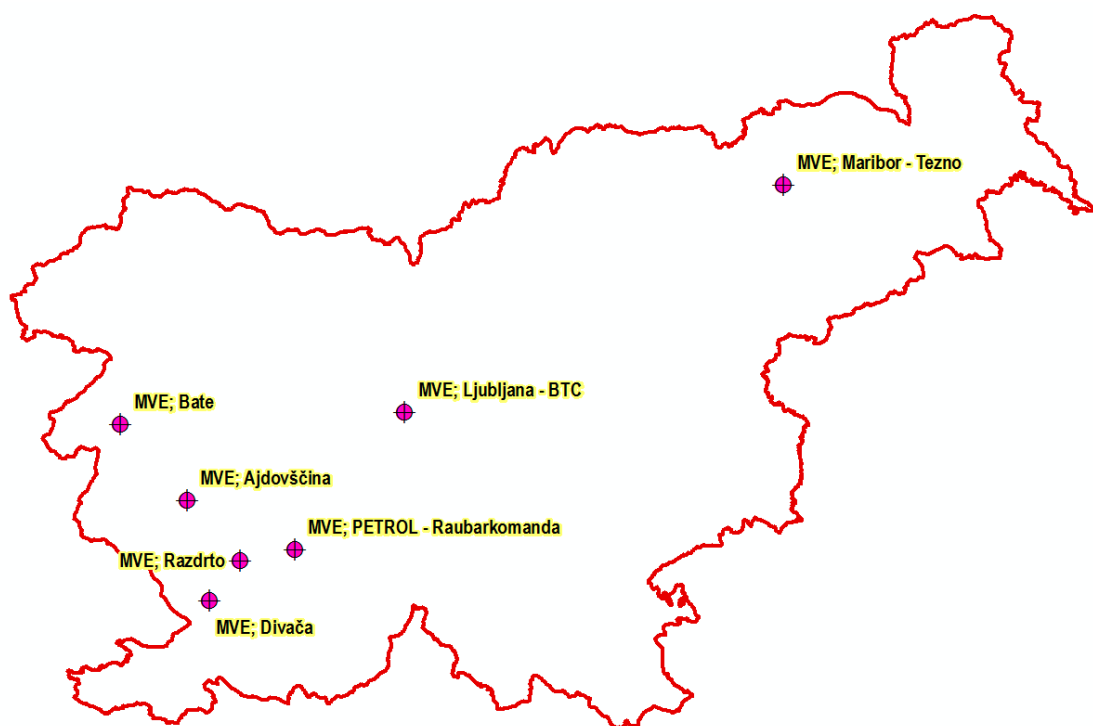
Pri pregledu strokovne literature je razvidno, da resne raziskave temeljijo na oromnem številu meritev vetrnih elektrarn, različnih moči in pri različnih meteoroloških pogojih. To v Sloveniji iz razloga, ker imamo dejansko na primerni lokaciji zgolj eno vetrno elektrarno ni mogoče izvesti, zato se je pri ocenjevanju rezultatov potrebno do nadaljnjega naslanjati tudi na tujo strokovno literaturo.

V želji, da bi tudi sami prišli do dognanj iz strokovne literature, da se potrdijo ali zavržejo na osnovi lastnih meritev, bi bilo potrebno izvesti meritve hrupa v daljših časovnih obdobjih, kar pa zna biti problematično, zaradi enormne količine merilnih podatkov, sploh če se izvajajo meritve na način, da se zajemajo podatki z resolucijo 100msek ter da se pri tem še dodatno snema zvok za namen naknadne obdelave podatkov, da se izločijo tudi viri hrupa, ki niso oredmet obratovanja veterne elektrarne.

Za nadaljnje delo predlagamo, daljše meritve hrupa, z zajemanjem podatkov 10min, kar bi bistveno olajšalo delo, pri tem pa bi lahko obravnavali tudi znatno daljša obdobja. Smiselno bi bilo obdobja obdelave toliko raztegniti, da bi se znotraj njih pojavili vsi vetrovi, vseh karakterističnih jakosti. Opozarjamo pa, da za zajetje vseh teh meteoroloških pogojev v okviru meritev hrupa vetrne elektrarne zna trajati tudi par mesecev.

T.12 MALE VETRNE ELEKTRARNE

Skladno s projektno nalogo je potrebno obravnavati tudi male vetrne elektrarne (op. v nadaljevanju MVE). Slika v nadaljevanju prikazuje, da jih je v Sloveniji postavljenih sedem (7), od tega 5 v JZ delu Slovenije, ena (1) v Ljubljani in ena (1) v Mariboru. Da jih je več postavljenih v JZ del Slovenije je pripisati ugodnejšim vetrovnim razmeram, ki veljajo na tem območju.



Slika 54: MVE razporejene po Sloveniji

Tabela v nadaljevanju podaja podatke o MVE ter naslove najbližjih naseljenih stavb z varovanimi prostori ter njihove oddaljenosti od MVE.

Tabela 13: Podatki o MVE v Sloveniji

Zap. št.	GK_Y [m]	GK_Y [m]	Opis - Ime	Moč P [kW]	L _{WA} [dBA]	Proizvajalec	Najbližja naseljena stavba	Naselje	Razdalja [m]
1.	415.310	82.767	MVE; Ajdovščina	3,5	85	Proven Energy	Tovarniška cesta 20	Ajdovščina	12
2.	420.484	59.946	MVE; Divača	3,5	85	Proven Energy	Dolnje Ležeče 97	Dolnje Ležeče	155
3.	400.154	100.113	MVE; Bate	15	92	Proven Energy	Banjšice 113	Banjšice	820
4.	439.880	71.405	MVE; PETROL - Raubarkomanda	3,5	85	Cleanfield Energy	Ljubljanska cesta 64	Postojna	80
5.	427.511	68.910	MVE; Razdrto*	910	103*	Enercon	Razdrto 14	Razdrto	350
6.	464.893	102.765	MVE; Ljubljana - BTC	50	97	Aerotech	Šmartinska cesta 149	Ljubljana	160
7.	551.323	154.745	MVE; Maribor - Tezno	3,5	85	/	Ukrajinska ulica 24A	Maribor	10

* zvočna moč je podana s strani proizvajalca

T.12.1 MALE VETRNE ELEKTRANE AJDOVŠČINA, DIVAČA

Trikraki vetrnici v Ajdovščini in Divači sta prvi mali vetrni elektrarni v Sloveniji, ki sta bili priključeni na električno omrežje. Izdelali so ju v škotskem podjetju Proven Energy, največji izkoristek imata pri hitrosti vetra 15 metrov na sekundo, kar zadošča za porabo večje družine.

T.12.1.1 MVE Ajdovščina

Vetrna elektrarna Ajdovščina z močjo 3,5 kW je bila v preteklosti predmet pritožb s strani stanovalcev na Tovarniški cesti 20 v Ajdovščini. Sedaj MVE trenutno ne obratuje, po podatkih upravitelja zaradi tehnične okvare.



Slika 55: Mala vetrna elektrarna v Ajdovščini, ob njej izpostavljen stanovanjski objekt na Tovarniški 20.

T.12.1.2 MVE Bate

Vetrna elektrarna Bate 1 je MVE nazivne moči 15 kW, ki jo je februarja 2009 na Banjski planoti postavilo podjetje E3 d.o.o.



Slika 56: Situacija vetrne elektrarne Bate.

To je prva vetrna elektrarna v Sloveniji, ki je bila postavljena v naravno okolje. Vetrnica škotskega proizvajalca Proven Energy stoji na 15 m visokem jeklenem stebru, premer rotorja je 8 m. Trenutno MVE Bate ne obratuje.

Najbližja stanovanjska objekta Banjščice 112 in Banjščice 113 sta od MVE Bate oddaljena cca 820m.



Slika 57: Najbližji stanovanjski objekti: Banjščice 112 (levo) ter Banjščice 113 (desno).

MVE Bate 1 je obratovala od marca do sredine decembra 2009, ko jo je poškodovala močna burja. Elektrarna je delovala s povprečnim izkoristkom 13%, povprečna mesečna proizvodnja pa je bila blizu 1.400 kWh. Tudi ta MVE trenutno ne obratuje zaradi tehnične napake.

Najbližji stanovalci v stanovanjskih hišah Banjščice 112 in 113 se nad obratovanjem MVE Bate tudi v času njenega obratovanja niso pritoževali.

T.12.2 MALA VETRNA ELEKTRANA POSTOJNA - RAVBARKOMANDA

V letu 2009 je bila dokončana MVE Postojna - Ravbarkomanda. Locirana je ob avtocesti v neposredni bližini bencinskega servisa OMV na Ravbarkomandi. Njene lopatice se vrtijo okrog vertikalne osi.



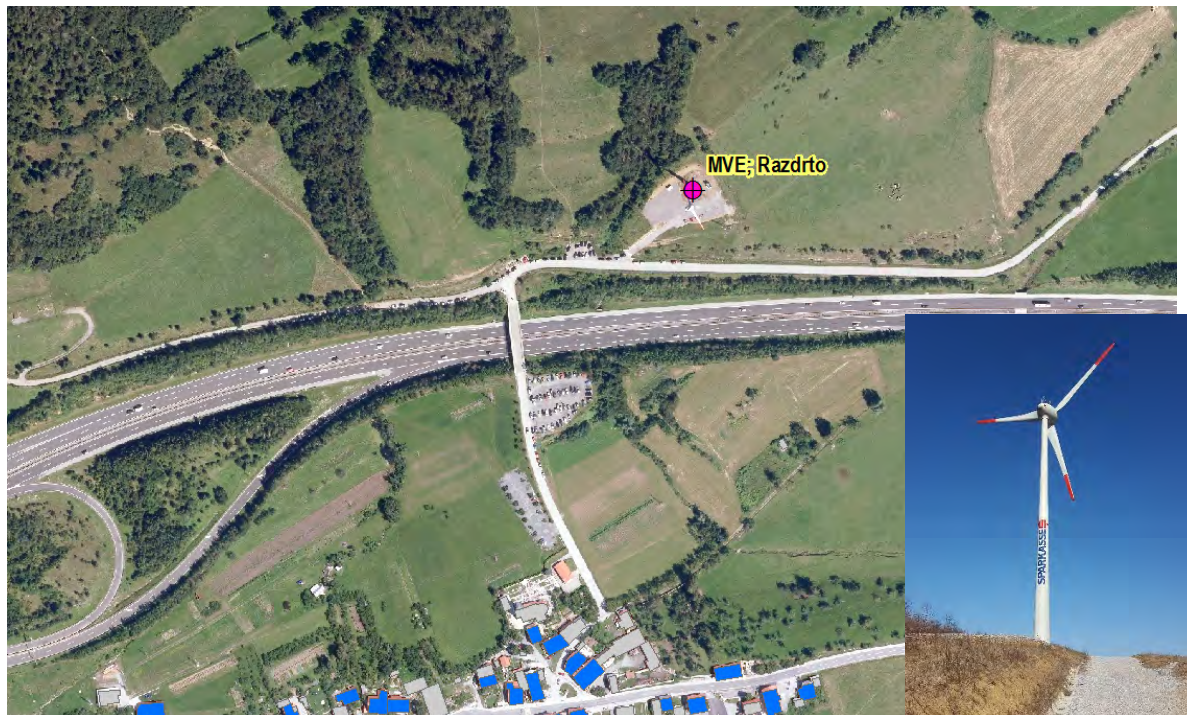
Slika 58: Situacija MVE Postojna-Ravbarkomanda in najbolj izpostavljenega stanovanjskega objekta.

Vetrna elektrarna je moči 3,5 kW vertikalnega tipa, kanadskega proizvajalca Cleanfield energy. Nameščena je na železni konstrukciji predalčnega tipa višine 15 m. Elektrarna ne obratuje zaradi mehanske poškodb. Najbližji stanovanjski objekti se nahajajo na Ljubljanski cesti v Postojni, ki so v prvi vrsti izpostavljeni hrupu AC, stare regionalne ceste in železnice. Najbližji stanovalci na Ljubljanski cesti 64 se nad hrupom obratovanja VE Ravbarkomanda niso pritoževali, saj ga je v celoti zamaskiral vpliv avtoceste in stare regionalne ceste.

T.12.3 MALA VETRNA ELEKTRANA POSTOJNA – RAZDRTO

Mala vetrna elektrarna Razdrto je locirana blizu vasi Razdrto, na drugi strani avtoceste.

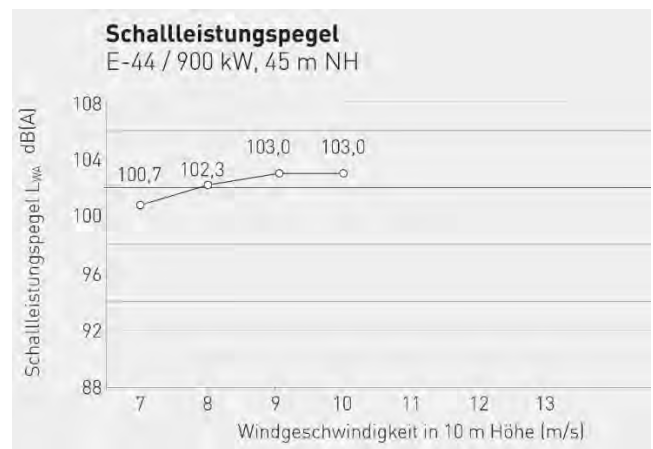
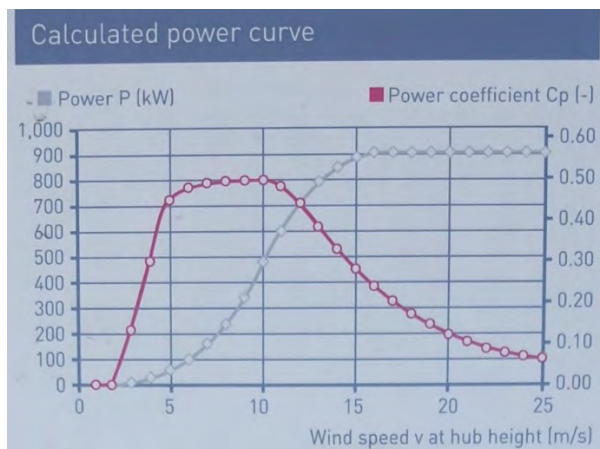
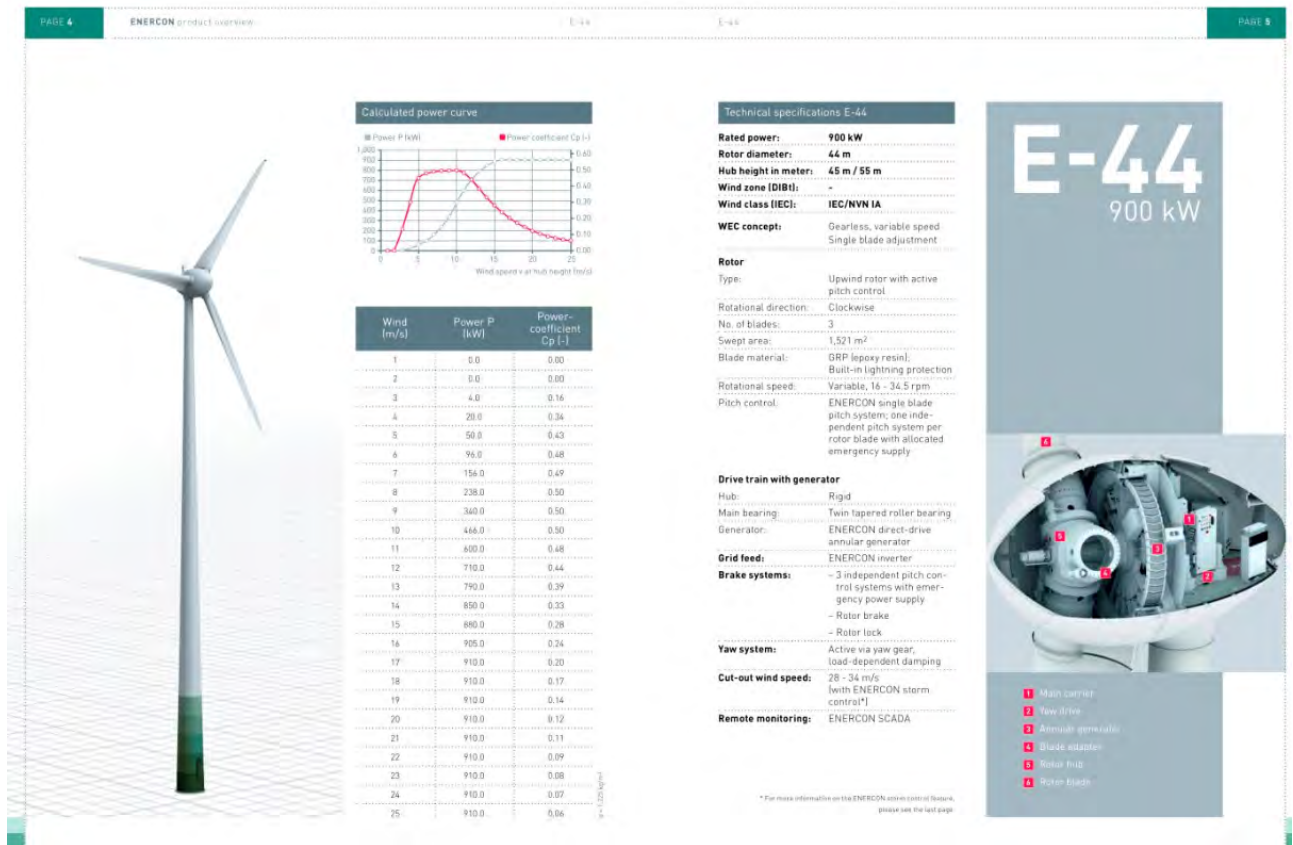
Gre za elektrarno druge generacije Enercon E44 900 kW, ki ima direkten pogon elektro generatorja. Čeprav gre po definiciji za malo vetrno elektrarno, je steber vseeno visok 55 metrov, premer elis pa je 44 metrov. Obratovalna moč elektrarne je 910 kW.



Slika 59: Situacija vetrne elektrarne Razdrto.



Slika 60: Pogled na MVE Razdrto ter Nanos v ozadju



Slika 61: Električna in zvočna moč MVE E-44 v odvisnosti od hitrosti vetra

Hrupa vetrne elektrarne Razdrto ni bilo mogoče meriti neposredno zaradi bližine avtoceste. Hrup avtoceste je tako močan, da občutno preglaši vpliv obratovanja vetrne elektrarne, tako da bi bile takšne meritve obremenjene z velikimi napakami zaradi hrupa ozadja. Ker so razpoložljivi podatki o zvočni moči, je hrup MVE pri najbližjih stavbah z varovanimi prostori enostavno mogoče določiti z modelnim izračunom.

T.12.4 MALA VETRNA ELEKTRANA DIVAČA

MVE Divača je montirana na vrhu transformatorske postaje v neposredni bližini avtoceste, kot to prikazuje slika v nadaljevanju. Višina vetrnice je cca 10m. Njena nazivna moč je 3,5 kW. Najbližji stanovanjski objekt je na vzhodni strani avtoceste, na naslovu Spodnje Ležeče 97, na oddaljenosti cca 155m. Mala vetrna elektrarna Divača občasno še vedno obratuje.



Slika 62: MVE Divača

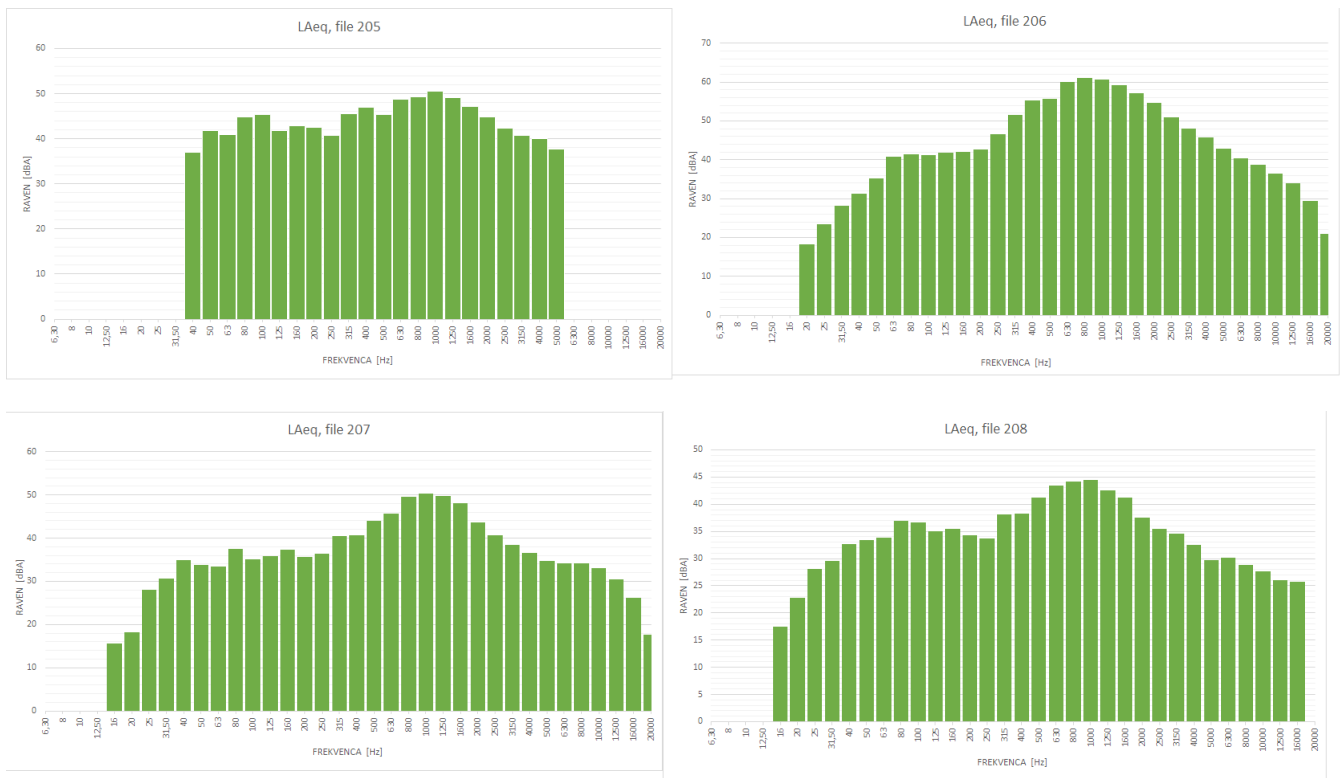
Dne 29.11.2016 so bile opravljene meritve njenega hrupa na oddaljenosti 15 m, v času med 08:30 – 09:30. V času meritev je pihal severovzhodnik s povprečno hitrostjo okrog 5 m/s ter s sunki do 13 m/s.

Meritve hrupa VE Divača v smeri vetra proti najbližjemu poslovnemu objektu na oddaljenosti 15 m, merjeno 29.11.2016. Vpliv hrupa ozadja (hrup prometa po AC) je bil ročno izločen. Rezultate prikazuje sledeča tabela.

Tabela 14: Kontrolne meritve hrupa MVE Divača

	L _{Aeq} [dBA]	L _{AF1} [dBA]	L _{AF99} [dBA]
1.meritev – vpliv MVE	59	60	57
2.meritev – vpliv MVE	57	59	56
3.meritev – vpliv MVE	53	55	52
Samo promet	68	73	61

Stanovalci na naslovu Spodnje Ležeče 97 (op. najbližji stanovanjski objekt) se nad obratovanjem MVE Divača ne pritožujejo, niti njenega hrupa ne zaznavajo, saj se med vetrno elektrarno in stanovanjsko stavbo nahaja avtocesta, ki znatno preglasi obratovanje MVE. Na spodnji sliki so prikazani frekvenčni spektri za opravljene kontrolne meritve MVE Divača (vir: ZVD).



Slika 63: Terčne frekvenčne analize hrupa VE Divača na oddaljenosti 15 m, v smeri vetra

Najbližji stanovanjski objekt Dolnje Ležeče 97 se nahaja na nasprotni strani avtoceste na oddaljenosti približno 160 m od MVE. Ocena obremenitve s hrupom kot posledica obratovanja MVE za objekt Dolnje Ležeče 97 je na osnovi modelnega izračuna (op. ZVD) L_{Aeq} = 37 dBA.

T.12.5 MALA VETRANA ELEKTRANA BTC CITY LJUBLJANA

Vetna elektrarna BTC stoji v križišču ob vhodu na območje BTC Cityja iz Šmartinske ceste, ki je na tem območju najbolj vetrovno. Vetna elektrarna BTC City je še vedno v fazi testiranja. Njena obratovalna moč je nekaj manj kot 50 kW, obratuje zgolj občasno. Podobno kot MVE Ravbarkomanda ima tudi ta MVE vertikalno os.

Izvedba meritev hrupa te MVE je težavna zaradi frekventnosti bližnjih cest, katerih hrup je na območju prevladujoč.

Dodatno je opozoriti, da v neposredni bližini ni stavb z varovanimi prostori. Slednje se nahajajo na razdalji cca 160m, torej na razdalji, kjer je mogoče hrup MVE ugotavljati zgolj na osnovi modelnega izračuna zaradi dominantnosti hrupa ozadja (op. promet).



Slika 64: MVE BTC City Ljubljana

T.12.6 MALI VETRNI ELEKTRANI PETROL – KOZINA IN PETROL – POVIR

Preverili smo tudi stanje glede MVE na Petrolovih bencinskih servisih Kozina vzhod in Povir jug. Ob navedenih bencinskih servisih so sicer pred dvema letoma poskusno obratovali male vetrne elektrarne, vendar pa so jih kmalu odstranili in na teh lokacijah tudi fizično ne obstajajo več.

T.12.7 POVZETEK ZA MALE VETRNE ELEKTRANE

Za obravnavane male vetrne elektrarne prilagamo še zbirno tabelo ocenjenih obremenitev s hrupom ob predpostavki, kaj bi za najbližje stanovanjske stavbe pomenilo v primeru obratovanja teh MVE.

Ocena hrupnih obremenitev je izvedena:

- modelni izračun po standardu SIST EN ISO 9613-2,
- meteorološki pogoji po GPG (50% ugodnih pogojev v dnevnem obdobju, za katerega je bil izveden kontrolni izračun),
- ravni teren,
- absorpcija tal je upoštevana, $G=0$ (op. popolna refleksija),
- absorpcija v zraku ob upoštevanju $T = 20^{\circ}\text{C}$ in 70% relativne vlažnosti,
- višina emisije 10m, višina imisije 2m.

Ocenjene vrednosti hrupa pri najbližjih stanovanjskih stavbah podaja tabela v nadaljevanju. Velja omeniti, da bi v realnosti bile vrednosti še nižje, saj je v modelnem izračunu upoštevana popolna refleksija, v realnosti pa na podlagi prihaja do določene stopnje absorpcije.

Večina teh elektrarn trenutno ne obratuje, vendar še vedno stojijo (Ajdovščina, Bate, Ravbarkomanda). MVE BTC City obratuje zelo poredko in njen hrup ni možno izmeriti v dnevnem času. Zelo pogosto obratuje vetrna elektrarna Razdrto, ki pa jo na za hrup občutljivih lokacijah pretežno preglaši vpliv avtocestnega prometa. Ravnih hrupa teh vetrnih elektrarn nismo merili, temveč smo ga določili z modeliranjem, rezultati so podani v tabeli. Najpogosteje obratuje MVE Divača, katera je preverjena tako z meritvami kot tudi z modelnim izračunom. Vetrni elektrarni Povir in Kozina pa sploh ne obstajata več, saj so ju po poskusnem obratovanju razstavili.

Zbirna tabela v nadaljevanju podaja ravni hrupa, ki ga oz. bi ga, med morebitnim obratovanjem sproščale male vetrne elektrarne pred najbolj izpostavljenimi stanovanjskimi objekti.

Tabela 15: Podatki o MVE v Sloveniji z oceno hrupnega vpliva na najbližjo stanovanjski stavbo

Zap. št.	Ime MVE	Moč P [kW]	L_{WA} [dBA]	Najbližja naseljena stavba	Naselje	Razdalja [m]	Ocenen vpliv MVE na najbližjo stan. stavbo L_{Aeq} [dBA]
1.	MVE; Ajdovščina	3,5	85	Tovarniška cesta 20	Ajdovščina	12	54
2.	MVE; Divača	3,5	85	Dolnje Ležeče 97	Dolnje Ležeče	155	33
3.	MVE; Bate	15	92	Banjsice 113	Banjsice	820	25
4.	MVE; PETROL - Raubarkomanda	3,5	85	Ljubljanska cesta 64	Postojna	80	39
5.	MVE; Razdrto*	910	103*	Razdrto 14	Razdrto	350	43
6.	MVE; Ljubljana - BTC	50	97	Šmartinska cesta 149	Ljubljana	160	45
7.	MVE; Maribor - Tezno	3,5	85	Ukrajinska ulica 24A	Maribor	10	55

* zvočna moč je podana s strani proizvajalca

T.13 MODELIRANJE HRUPA VETRNIH ELEKTRARN

Mehanizem emisije hrupa vetrnih elektrarn je dokaj kompleksna zadeva [4,6,7,8], zaradi česar bi bilo modeliranje emisije hrupa v vseh detajlih izredno kompleksna zadeva, kakor tudi širjenje hrupa do imisijskih točk.

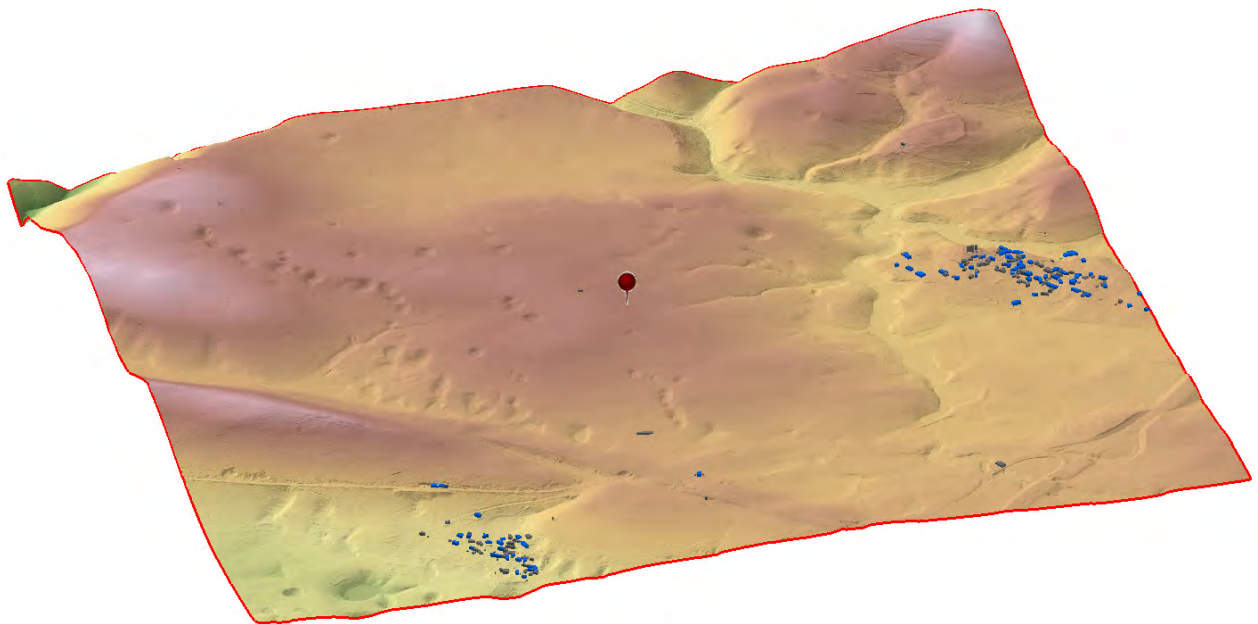
Ob določenih poenostavitvah in ob predpostavkah točkovnega vira hrupa je mogoče širjenje hrupa vetrnih elektrarn obravnavati tudi po standardu SIST ISO 9613-2 [26]. Tovrsten pristop oz. uporaba predmetnega standarda je v svetu zelo razširjena, še posebej v fazi splošnega načrtovanja, v začetnih fazah ocenjevanja vpliva hrupa vetrnih elektrarn na okolico v kateri se nameravajo postaviti.

Detaljnije analize z uporabo kompleksnejših orodij v občutlivejših primerih se uporabijo, kadar natančnost po dokaj enostavni metodi z uporabo standarda SIST ISO 9613-2 ne daje zadovoljive rezultate. Negotovost izračuna po SIST ISO 9613-2 je ocenjena na ± 3 dB [26].

Konkretno za primer vetrne elektrarne v Dolenji vasi pri Senožečah smo zraven meritev hrupa izvedli tudi oceno obremenjevanja okolja na osnovi modelnega izračuna ob upoštevanju sledečih predpostavk:

- 3D teren je narejen iz LIDAR podatkov v obliki kontur s korakom 1m,
- zvočna moč vetrne elektrarne (op. točkovni vir) $L_{WA} = 104,4$ dBA,
- upoštevano je sferično širjenje hrupa od vira hrupa v okolje,
- stavbi fond je povzet iz katastra stavb, s katerimi razpolaga GURS,
- relativna višina "točkovnega vira" hrupa je na 98m,
- v izračunu je upoštevana odbojnost terena $G = 0$ (ni absorpcije),
- izračun je izveden v 1/3 oktavnem spektru, pri čemer je upoštevan za vir hrupa realen frekvenčni spekter, priobljene na osnovi izvedenih meritev hrupa,
- ni upoštevana amplitudna modulacija,
- izračun za dnevno obdobje, upoštevana meteorološka korekcija skladno z GPG.

Slika v nadaljevanju prikazuje širše 3D območje okoli vetrne elektrarne v Dolenji vasi pri Senožečah, s prikazom najbližjih stavb, ki so od lokacije vetrne elektrarne oddaljene cca 880m v vzhodni smeri.



Slika 65: 3D konfiguracija terena uporabljen v akustičnem modelu, povzeta po Lidar podatkih (konture s korakom 1m)

Slika v nadaljevanju prikazuje upoštevan frekvenčni spekter, ki je bil upoštevan v programskem orodju LimA (Bruel&Kjaer). Na grafični način prikazan frekvenčni spekter prikazuje Slika 36.

Note: details only necessary for calculation in octave- and 1/3 octave spectrum

select: code:

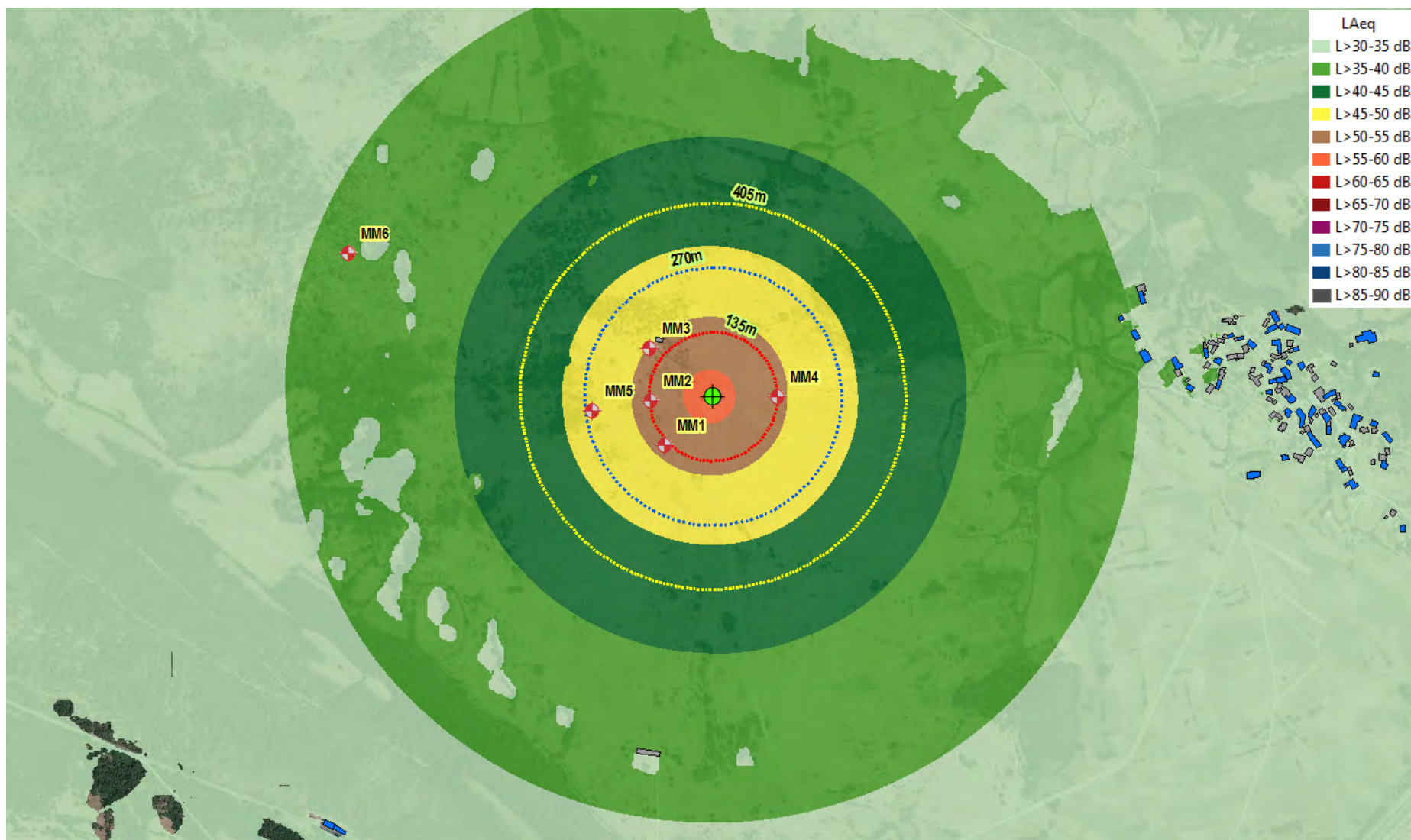
Rating:

frequency emissions (dB)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Octave spectrum	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="53.2"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
	50	100	200	400	800	1600	3150	6300
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	80	160	315	630	1250	2500	5000	10000
1/3 octave spectrum	<input type="text" value="58.900"/>	<input type="text" value="55.5"/>	<input type="text" value="51.6"/>	<input type="text" value="50.7"/>	<input type="text" value="46.1"/>	<input type="text" value="40.1"/>	<input type="text" value="35.1"/>	<input type="text" value="36.9"/>
	<input type="text" value="58.600"/>	<input type="text" value="55.2"/>	<input type="text" value="53.1"/>	<input type="text" value="49.3"/>	<input type="text" value="44.3"/>	<input type="text" value="39"/>	<input type="text" value="34"/>	<input type="text" value="34.5"/>
	<input type="text" value="57.2"/>	<input type="text" value="55.8"/>	<input type="text" value="52.9"/>	<input type="text" value="48.3"/>	<input type="text" value="42.7"/>	<input type="text" value="38.3"/>	<input type="text" value="35.6"/>	<input type="text" value="28.3"/>

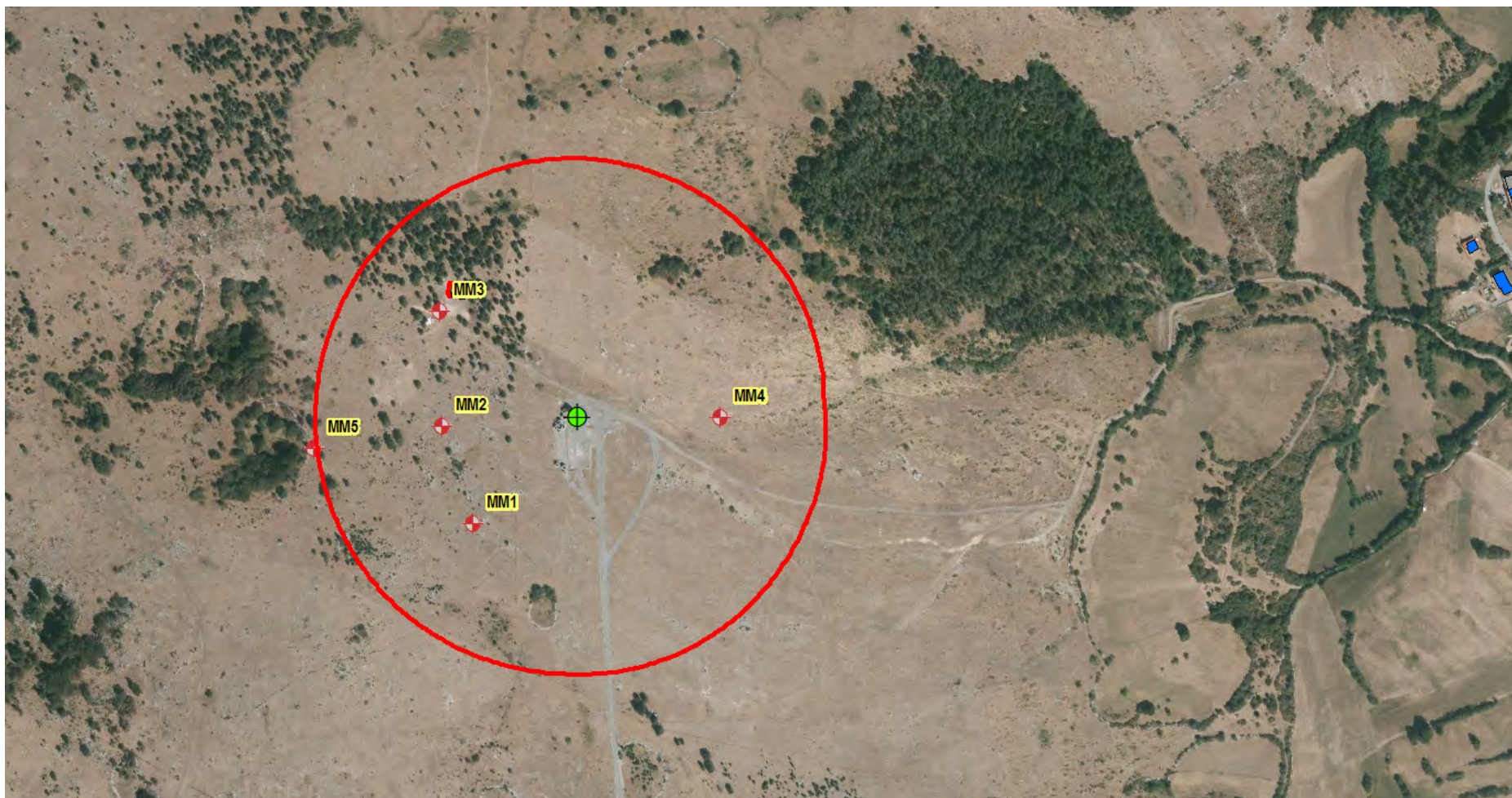
Paste :

Slika 66: Frekvenčni spekter vetrnice tipa E-70, uporabljen pri modelnem izračunu

Slika 67 prikazuje rezultate modelnega izračuna z upoštevanjem predpostavk navedenim na začetku tega poglavja. Slika 68 pa prikazuje izofono 47 dBA, če bi jo upoštevali kot mejno v smislu poglavja T.3.5.



Slika 67: Rezultati modelnega izračuna pod pogoji navedenimi v poglavju T.13



Slika 68: Mejna izofona 47 dBA na razdalji 238m

Tabela v nadaljevanju podaja primerjavo rezultatov pridobljenih na osnovi meritev hrupa in rezultatov na osnovi modelnega izračuna po standard SIST ISO 9613-2.

Tabela 16: Primerjava rezultatov meritev in modelnega izračuna za 4 imisijske točke

Zap. št.	Mer. mesto	GK_Y [m]	GK_X [m]	Razdalja [m]	Meritev LAeq* [dBA]	Izračun LAeq [dBA]	Razlika (Meritev – Izračun) ΔLAeq [dBA]	D _{AM} [dBA]
1.	MM1	422.037	65.715	142	54,1	51,2	+2,9	2,1
2.	MM2	422.007	65.809	130	55,0	51,8	+3,2	2,6
3.	MM3	422.005	65.919	166	54,1	50,1	+4,0	2,7
4.	MM4	422.274	65.817	138	51,8	50,8	+1	/
5.	MM5	421.885	65.787	254	/	46,9	/	/
6.	MM6	421.372	66.116	821	/	35,9	/	/

* korigirano na ozadje

Ugotoviti je, da je se razlike gibljejo med +1 in +4 dBA, pri čemer so izmerjene vrednosti višje. Pri tem je potrebno omeniti, da so meritve izvedene na način, da se je meril skupen hrup (vetrna elektrarna + ozadje), pri čemer ima ozadje zelo velik vpliv. Samo hrupa ozadja ni bilo mogoče izmeriti, ker upravljavec ni izključil vetrne elektrarne, da bi bilo tako mogoče izmeriti zgolj hrup vetra kot ozadja. Posledično smo sicer skupni hrup korigirali na osnovi lastnih metod oz. priporočil strokovne literature (op. glej poglavje T.4), vendar menimo, da je bil vpliv vetra močnejši, kar bi rezultiralo v nekoliko nižjih vrednostih hrupa same vetrne elektrarne v merilnih točkah, s tem bi pa tudi razlike med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi bile manjše.

Na osnovi študija strokovne literature, izvedenih meritev hrupa, modelnega izračuna, ocenjujemo, da bi v primeru študij vpliva hrupa vetrnih elektrarn na okolje bilo potrebno ubrati sledeči metodološki pristop:

1. **FAZA:**

- za tip vetrne elektrarne, ki se namerava postaviti od proizvajalca pridobiti točen podatek glede zvočne moči (L_{WA}), po možnosti v 1/3 oktavnem frekvenčnem spektru,
- izdelati 3D model okoliškega terena z natančnostjo ±1m, kar zadostuje, če se uporabijo Lidar podatki, ki so razpoložljivi za celotno Slovenijo,
- v akustični model vgraditi stavbni fond z dejanskimi višinami,
- postaviti "točkovni" vir hrupa na dejansko višino,
- upoštevati realno absorpcijo terena,
- upoštevati sferično širjenje hrupa,
- izvesti izračun širjenja hrupa po standardu SIST ISO 9613-2 ob upoštevanju nevtralnih meteoroloških pogojev.

2. **FAZA:**

- izdelati študijo vetrovnih razmer za dano lokacijo, roža vetrov: po hitrostnih razredih in pogostosti v posameznih smereh,
- določiti korekcijske faktorje za vse točke prostorskega izračuna glede na rožo vetrov [8],
- izdelati korigirano karto hrupa na osnovi rezultatov prostorskega izračuna za nevtralne vetrovne razmere in korekcijskih faktorjev iz predhodne alineje.

3. **FAZA:**

- za najbolj izpostavljene stavbe z varovanimi prostori, izhajajoč iz 2. faze, določiti dejanski hrup ozadja, na osnovi dolgotrajnejših meritev hrupa ozadja, ki mora biti izvedeno na način, da bo hrup ozadja določljiv za posamezne vetrovne razrede. Dejstvo namreč je, da je hrup ozadja zelo specifičen od lokalnih značilnosti (op. šumenje listja, ojačitve vetra zaradi ozkih prehodov ipd...).

4. **FAZA:**

- izdelati oceno sprejemljivosti glede na zaključke in rezultate 2. in 3. faze. V oceni sprejemljivosti more biti upoštevan tudi dejanski hrup ozadja.

T.14 ZAKLJUČEK

V sklopu te naloge smo evidentirali pomembnejše vetrne elektrarne v Sloveniji in proučili njihov vpliv na hrup v okolju. Večina teh elektrarn je majhnih z močjo nekaj kW, veliko pa jih trenutno sploh ne obratuje (Bate, Banjščice, Ajdovščina, Ravbarkomanda), ali pa obratujejo zgolj občasno (BTC, Divača). Izmed malih vetrnih elektrarn je najpomembnejša MVE Razdrto, ki pa je nameščena v neposredni bližini avtoceste, katere hrup močno zamaskira vpliv obratovanja MVE. Hrup izmerjene vetrne elektrarne Divača nima motečega vpliva na najbližje stanovanjske objekte, čeprav bi bil ob zaprtju avtoceste lahko tam zaznaven.

Ker so MVE praktično na lokacijah, ki so neproblematične ali pa MVE sploh ne obratujejo, je bila glavna pozornost posvečena proučevanju velike vetrne elektrarne v Dolenji vasi pri Sežani, ki je tudi predmet občasnih pritožb nekaterih najbližjih prebivalcev. Za to vetrno elektrarno je bilo ugotovljeno, da njene ravni pred najbolj izpostavljenimi stanovanjskimi objekti v času meritev sicer niso prekoračevale vrednosti 48 dBA, to je mejne ravni hrupa, ki je predpisana z Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju za III. stopnjo varstva pred hrupom v nočnem času.

Omeniti velja, da Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju eksplicitno ne obravnava vetrnih elektrarn. Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju, v Prilogi 3 sicer dopušča vrednotenje škodljivih učinkov še po drugih kazalcih, ki jih pa sicer posebej ne definira, niti ne predpiše kot obvezujoče. Posledično temu, v Sloveniji nimamo posebnega predpisa, ki bi hrup vetrnih elektrarn obravnaval na poseben način, niti osnove, da bi motilne faktorje, kot je npr. amplitudna modulacija upošteval pri vrednotenju.

Če izmerjene in analizirane ravni vetrne elektrarne v Dolenji vasi pri Senožečah primerjamo z nekaterimi predpisi oziroma normativi iz drugih razvitih držav je mogoče ugotoviti, da obstajajo elementi, ki bi lahko bili moteči za okolje. Ravni hrupa te vetrne elektrarne v primeru vzhodnih vetrov s povprečno hitrostjo okrog 8 m/s dosega okrog 37 dBA v primeru nestabilne oziroma nevtralne atmosfere, pri tem pa je potrebno tudi omeniti, da podrobna analiza hrupa ozadja pri najbližjih stanovanjskih objektih ni bila narejena. Za podrobnejšo analizo obremenjenosti vetrni elektrarni v Dolenji vasi najbližjega stanovanjskega objekta na naslovu Dolenja vas 34B bi bilo potrebno izvesti še meritve ob drugačnih meteoroloških pogojih in vseh stabilnostnih pogojih atmosfere. Za izvedbo vseh teh meritev pa bi bilo potrebno več mesecev izvajanja meritev hrupa in sočasnega spremljanja meteorologije.

Da bi lahko s sigurnostjo dejali ali ima vetrna elektrarna v Dolenji vasi takšne motilne elemente, ki bi bili nesprejemljivi za bližnje stanovalce, bi bilo potrebno narediti podrobno analizo vetrovnih razmer in analizo hrupa ozadja na mestih ocenjevanja (op. konkretno pri stanovanjskih objektih). Zgolj na ta način bi bilo mogoče ugotoviti ali ozadje na zadosten način maskira hrup vetrne elektrarne ali pa kljub temu prihaja do nivojev hrupa, ki so kljub ozadju zaznavni kot posledica obratovanja vetrne elektrarne.

T.14.1 NAPOTKI ZA NADALJNJE DELO

Problematika vetrnih elektrarn je posebej zaznavna pri umeščanju tovrstnih objektov v prostor. Obstoječa zakonodaja je glede tega pomanjkljiva (Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju in Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju), ker posebej ne obravnava vetrnih elektrarn. Strokovne literature na tem področju je na območju EU kot tudi v svetu precej, temu primerno se tudi razlikujejo priporočene mejne vrednosti.

V smislu zakonske ureditve tega področja predlagamo spremembo zakonodaje na področju hrupa na način, da bodo vetrne elektrarne konkretno obravnavane.

Neodvisno od zakonodaje pa je potrebno zagotoviti, da je potrebno v okviru študije sprejemljivosti umeščanje vetrnih elektrarn v prostor izvesti poglobljene študije v smislu metodologije iz poglavja T.13, s poudarkom na določanju hrupa ozadja.

T.15 VIRI

- [1] Hideki Tachibana, Outcome of systematic research on wind turbine noise in Japan, Inter noise 2014, Melbourne, Avstralija
- [2] D. Bowdler in G. Leventhall, Wind Turbine Noise, Poglavlje 5, Multi-Science Publishing Co. Ltd. (2011)
- [3] – Daniel J. Alberts, Addressing Wind Turbine Noise, Lawrence Technological University, 2006
- [4] – Council of Canadian Academies, Understanding the Evidence: Wind Turbine Noise, The Expert panel on Wind Turbine Noise and Human Health, Canada 2015
- [5] – James Finch; Characterization and Impact of Low Frequency Wind Turbine Noise Emissions; University of Windsor, 2013
- [6] – Sonus Pty Ltd; Wind Farms Technical Paper – Environmental Noise; Adelaide, November 2010
- [7] – Manne Friman, Department of Aeronautical and Vehicle Engineering; Directivity of Sound from Wind Turbines; Stockholm 2011
- [8] – Karl-Wilhelm Hirsch, Cervus Consult; Sound Weather - Methods and Applications; Internoise 2016
- [9] – H. Klug; Noise from Wind Turbines – Standards and Noise Reduction Procedures, Sevilla, Forum Acusticum 2002
- [10] – The Working Group on Noise from Wind Turbines, The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms ETSU-R-97, Final Report, September 1996
- [11] – SLR Global Environmental Solution; Rye Park Wind Farm – Noise Impact Assessment, report. Number: 640.01808-R1; Rye Park Wind Farm Pty Ltd; 2013
- [12] – Bob Thorne, The Society for Wind Vigilance; The Problems with "Noise Numbers" for Wind Farm Noise Assessment; First International Symposium, Oktober 2010
- [13] – EPA, South Australia; Wind Farms Environmental Noise Guidelines; Julij 2009
- [14] – Richard Cox, David Unwin and Trevor Sherman, Wind Turbine Noise Impact Assessment – Where ETSU is Silent, 10. julij 2012
- [15] – Department for Communities and Local Government, UK, Planning Policy Guidance 24: Planning and Noise, September 1994
- [16] – Paul Nelson, Transportation Noise Reference Book, izdano: Butterworths, 1987
- [17] – WHO, Night Noise Guidelines for Europe, 2009
- [18] – IEC 61400-11, Edition 2.1, 2006-11, Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques
- [19] – Colin H_ Hansen, Con J_ Doolan, Kristy L_ Hansen, Wind Farm Noise Measurement, Assessment, and Control, John Wiley & Sons Ltd, 2017
- [20] – Danish Energy Authority, Low Frequency Noise from Large Wind Turbines, DELTA, EFP-06 Project, November 2010
- [21] – Sabine A. Janssen, Henk Vos; A comparison between exposure – response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise source, Acoustical Society of America, 2011
- [22] – Council of Canadian Academies, Understanding the Evidence: Wind Turbine Noise, The Expert panel on Wind Turbine Noise and Human Health, Canada 2015

- [23] – Obratovalni monitoring obremenitve s hrupom za omrežje cest, ki so v upravljanju DARS, d.d., JV PNZ, d.o.o., EPI SPEKTRUM; d.o.o., A_PROJEKT, d.o.o., 2014
- [24] – Anthony L. Rogers, Renewable Energy Reseach Laboratory; Wind Turbine Acoustic Noise; Januar 2006
- [25] – Sten Ljunggren, Department of Building Sciences The Royal Institute of Technology; Measurement of Noise Immision from Wind Turbines at Noise Receptor Location; Stockholm, 1997
- [26] – Best Practice for Wind Power Project Acoustic Assessment British Columbia 2012; Ministry of Forest, Lands and Natural Resource Operations
- [27] – G.P. van der Berg; Efferct of the Wind Profile at Night on Wind Turbine Sound; Journa of Sound and Vibration, 2003
- [28] – Ehsan Mollasalehi; Contribution of Small Wind Turbine Structural Vibration to Noise Emission; Energies ISSN 1996-1073; 2013
- [29] – Danish Energy Authority; EFT-06 Report: Low Frequency Noise from Large Wind Turbines – Noise Monitoring at Hoevsore; DELTA, 2008
- [30] – Danish Energy Authority; EFT-06 Report: Low Frequency Noise from Large Wind Turbines – Sound Power Measurement Method; DELTA, 2008
- [31] – Danish Energy Authority; EFT-06 Report: Low Frequency Noise from Large Wind Turbines – Final Report; DELTA, 2010
- [32] – Patrik Rynell; Noise Immision Measurement from Wind Turbines; Master of Science Thesis, Chalmers university of Technology, Goteburg, 2009
- [33] – Edwin Nieuwenhuizen; Differences in Noise Regulation for Wind Turbines in Four Wuropean Countries; Euronoise, Maastricht, 2015
- [34] – Tom Evans; Influence of Wind Direction on Noise Emission and Propagation from Wind Turbines; Proceeding of Acoustics, Fremantle, Australia, 2012
- [35] – Cedric Roberts; Ecoaccess Guideline for the Assessment of Low Frequency Noise; Proceeding of Acoustics, Gold Coast, Australia, 2004
- [36] – Tom Burton; Wind Energy Handbook, Second Edition; Wiley and Sons, Ltd, 2011
- [37] – Technical Information; Wind farms, Sound and Health; State Government Victoria, Australia; 2013
- [38] – ZAG; Razvojno raziskovalna naloga, Pasivna zaščita obstoječih stanovanjskih objektov pred hrupom prometa ob avtocestah, Končno poročilo; 2004
- [39] – Bo Soendergaard; Noise and Energy optimization of Wind Farms, Validation of the Nord2000 Propagation Model for use on Wind Turbine Noise – Final Report; Delta, 2009
- [40] – European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN); Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure (GPG) – Verzion 2; Januar 2006
- [41] – Environmental Research and Consultancy Department, Directorate of Airspace Policy, Civil Aviation Authority; ERCD REPORT 0907 – Environmental Noise and Health: A Review; London, Februar 2010
- [42] – European Environment Agency; Good Practice Guide on Noise Exposure and Potential Health Effect – EEA Technical Report, No_11/2010; ISSN_1725-2237, Copenhagen, 2010
- [43] – Eja Pederse; Human Response to Wind Turbine Noise, perception, Annoyance and Moderating Factors, Goteborgs Universitet, 2007
- [44] - G.P.van den Berg; Effects of the Wind Profile at Night on Wind Turbine Sound; Journal of Sound and Vibration, 2003
- [45] – D.Bruce Turner; Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates; EPA, 1970
- [46] – Aquarius d.o.o., Okoljsko poročilo za akcijski načrt za obnovljive vire energije za obdobje 2010–2020, št. 1330-15 OP, oktober 2016

- [47] – Epi Spektrum d.o.o., Vetrna elektrarna v Dolenji vasi (VEDV15), Prvo ocenjevanje hrupa v okolju v skladu s Pravilnikom o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje, št. 2014-029/MEHR, maj 2015
- [48] – Enercon GmbH, Enercon E-70, Data Sheet, 2005
- [49] – ENERCON GmbH, Sound Power Level of the Enercon E-70, št. SIAS-04-SPL E-70 E4 red Rev1_2, 2012
- [50] – UM FERI Laboratorij za energetiko, Vetrne elektrarne, 2010
- [51] – VEPA, Vplivi (nizkofrekvenčnega) hrupa, ki ga povzroča delovanje vetrnih elektrarn, 2013
- [52] – Nacionalni inštitut za javno zdravje, Dr. Sonja Jeram, Vpliv hrupa vetrnih elektrarn na zdravje ljudi
- [53] – ZRC SAZU, Vetrovnost v Sloveniji, 2009

Konec poročila