

Par vēja enerģiju tuvplānā – kādu ietekmi uz vidi un cilvēku rada daudzsološais energoresurss, un kādi risinājumi pastāv šīs ietekmes mazināšanai



Andis Antāns, AS "Latvenergo" vēja enerģijas projektu vadītājs
Dainis Kanders, AS "Latvenergo" vides risku un attīstības projektu vadītājs
Aļona Boloņina, AS "Latvenergo" Vides pārvaldības daļas vadītāja
Edgars Groza, AS "Latvenergo" vēja enerģijas projektu vadītājs



Lai atbalstītu Eiropas zaļo kursu un sniegtu ieguldījumu vienoto Eiropas Savienības (ES) enerģētikas mērķu par klimatneitralitāti Eiropā līdz 2050. gadam sasniegšanā, samazinātu siltumnīcefektu izraisošo gāzu (SEG) emisijas, saglabātu biodaudzveidību un atbalstītu aprites ekonomiku, Latvijā ir apstiprināti vairāki nacionālas nozīmes plānošanas dokumenti. To galvenie mērķi ir popularizēt un ieviest bezoglekļa enerģijas sistēmas, samazināt fosilo energoresursu izmantošanu un aizstāt tos ar atjaunīgajiem energoresursiem (AER), īpaši vēja enerģiju.

Lai šos mērķus veiksmīgi sasniegtu, ir svarīgi uz AER, un konkrēti vēja enerģētikas, projektiem raudzīties gan no sociālekonomiskajiem, gan ekspluatācijas drošības un ietekmes uz vidi aspektiem, starp kuriem jāmin, piemēram, bioloģiskās daudzveidības aizsardzība un saglabāšana vēja parku būvniecības un darbības laikā, iekārtu utilizācija pēc vēja parku dzīves cikla beigām, apledošanas risks, mirguļošanas efekts, turbīnu radītais trokšņa piesārņojums.

2021. gads Eiropas vēja industrijā bijis pēdējā desmitgadē visaktīvākais – saskaņā ar Eiropas vēja enerģijas asociācijas *WindEurope* datiem 2021. gadā uzstādīto vēja parku kopējā jauda sasniedz 17,4 gigavatus (GW). No tiem 14 GW uzstādīti

sauzemes vēja parkos [1]. Šāds attīstības scenārijs nav pārsteigums, ņemot vērā Eiropas AER plašākas izmantošanas un zaļo tehnoloģiju attīstības kursu, kas ļauj uzstādīt arvien lielākas, augstākas, efektīvākas un jaudīgākas vēja turbīnas.

Saskaņā ar *WindEurope* prognozēm vēja parku attīstība turpināsies līdzīgā tempā. Sagaidāms, ka līdz 2026. gadam papildus tiks uzbūvēti vēja parki ar kopējo jaudu 116 GW, no kuriem 76 procenti būs sauszemes vēja parki [1]. Šāds attīstības scenārijs nepārprotami veicinās arvien pieaugošu AER elektroenerģijas bilanci kopējā ES valstu elektroenerģijas ģenerācijas portfelī un samazinās fosilo resursu izmantojumu.

Latvijas Nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2021.–2030. gadam (Plāns 2021.–2030.) iezīmē skaidrus virzienus efektīvai un ilgtspējīgai AER izmantošanai mūsu valstī. Tas paredz būtiski palielināt AER īpatsvaru elektroenerģijas ražošanā, kas prasīs ievērojamu vēja elektrostaciju (VES) jaudu ieviešanu jeb kopējo ģenerācijas jaudu pieaugumu Latvijā aptuveni par 25 procentiem. Plānā 2021.–2030. noteikto mērķu sasniegšana ir uzskatāma par Latvijas enerģētikas nozares desmitgades lielāko izaicinājumu, turklāt vēja enerģijas attīstībai jāiet roku rokā arī ar apkārtējās vides aizsardzības faktoriem, kas detalizēti jāizvērtē, attīstot vēja parkus. Veiksmīgai mainīgas AER ģenerācijas ieviešanai jāveic virkne apgādes drošuma pasākumu – efektīvai rezerves balansēšanas jaudu darbībai un akumulācijas jaudu nodrošināšanai. Ietekme uz bioloģisko daudzveidību, turbīnu pārstrāde pēc to dzīves cikla beigām, apledojs, mirguļošanas efekts, turbīnu radītais trokšņa piesārņojums un elektromagnētiskais starojums – tie ir tikai daži no aspektiem, kas tiek vērtēti vēja elektrostaciju ietekmes uz vidi novērtējuma (IVN) procesā.

Ietekme uz vidi, tostarp putniem un sikspārņiem

VES iespējamā ietekme uz ornitofaunu un sikspārņiem ir viena no tipiskām ar vēja parku būvniecību saistītām problēmām, jo, neatbilstīgi plānojot to izvietojumu, kā arī savlaicīgi neparedzot ietekmes novēršanas un mazināšanas pasākumus, dzīvnieku sadursmju un bojāejas skaits var pārsniegt saprātīgi pieļaujamo līmeni.

IVN procesa ietvaros veiktais novērtējums par VES darbības un ar to saistīto objektu iespējamo ietekmi uz paredzētās darbības teritoriju un tās apkārtnes bioloģisko daudzveidību pamatā balstās uz Dabas aizsardzības pārvaldes sertificēto sugu un biotopu ekspertu sagatavotajiem atzinumiem, kā arī citu dažādu nozaru ekspertu novērtējumiem. Latvijas daba joprojām ir gana daudzveidīga, to nav noplicinājusi rūpniecība un industriālā lauksaimniecība, tāpēc Eiropas pieredze bieži neatbilst mūsu apstākļiem un ne vienmēr iespējams tās nosacījumus piemērot Latvijas situācijai. Viens no primārajiem faktoriem, kas ņemams vērā IVN procesā, ir ietekme uz savvaļas putnu populācijām.

Saskaņā ar ASV 2017. gadā veikto pētījumu [20] sadursmes ar vēja turbīnām nav galvenais savvaļas putnu bojāejas iemesls. Daudz vairāk putnu iet bojā sadursmēs ar stikla šķēršļiem (piemēram, augstceltnes, viaduktu un šoseju stikla trokšņa barjeras), autotransportu, elektropārvades līnijām un mājdzīvniekiem, īpaši kaķiem.

Attiecībā uz putniem vēja enerģijas

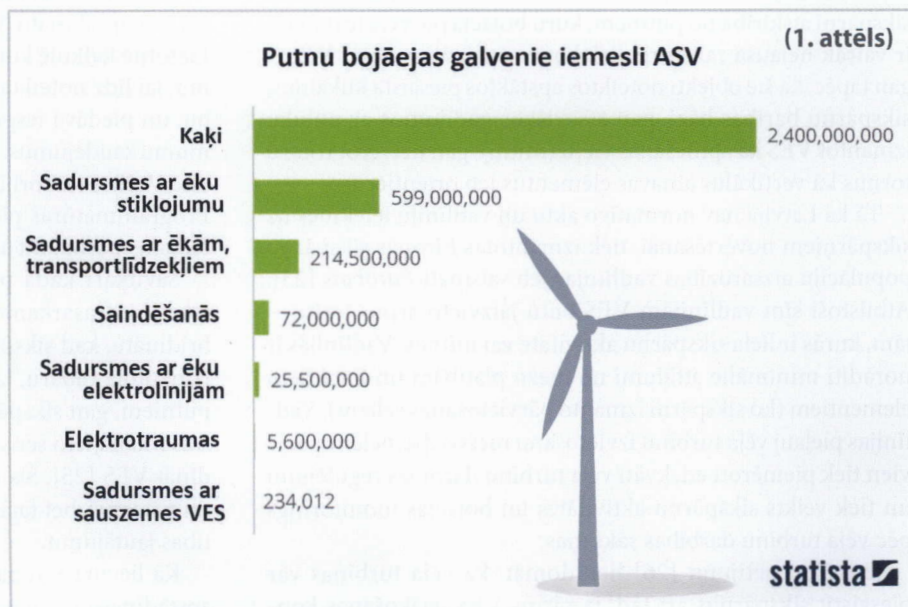
nozārē mūsu valstī nākotnē varētu būt sarežģīta situācija, jo Latvijā putnu ir daudz. Tāpēc nav vēja parku, kurus putnu aizsardzības jautājumi neskar, un galvenā un jutīgākā grupa ir plēsīgie dienas putni. Turklāt īpaši aizsargājami putni ir vienmērīgi izplatīti pa visu valsts teritoriju. Piemēram, nevienā citā valstī Eiropā nedzīvo tik daudz mazo ērgļu kā Latvijā. Latvijas populācija 2018. gadā ir novērtēta ar 4334 pāriem, kas iezīmē Latviju kā vienu no globālās populācijas kodolteritorijām – ar aptuveni 20% pasaules populācijas īpatsvaru [19].

Saskaņā ar normatīvajiem aktiem [22], plānojot vēja parku attīstību, putnu aizsardzībai minimālo pieļaujamo attālumu vēja elektrostaciju izvietojumam nosaka sertificēts ornitologs IVN procesa ietvaros. Praksē kā tuvāko attāluma sliekšni vēja parku būvniecībā attiecībā pret ligzdām piemēro trīs kilometrus, kas ir noteikts mazā ērgļa sugas aizsardzības plānā. Ornitologi jau veiktajos VES parku IVN atzinumos norāda, ka, neskatoties uz savvaļas putnu izpēti, putnu monitoringa jādrosina pirmsbūvniecības un būvniecības fāzē, kā arī ekspluatācijas fāzē. Monitoringa veicams vienu gadu pirms un trīs līdz piecus gadus pēc VES ekspluatācijas sākšanas [21].

Tomēr izaicinājumi VES sadzīvošanā ar putnu valstību nav nekas jauns. Pasaulē un Eiropā tiek izmantoti risinājumi un testēti dažādi jauni rīki un metodes, kas mazina VES ietekmi uz savvaļas putniem gan plānošanas, gan būvniecības, gan ekspluatācijas periodos. Virknē valstu tiek lietoti sadursmju riska modeļi, kuros izmanto praktiskos apsekojuma datus un monitoringa datus no strādājošām VES, lai pētītu plānoto VES parku turbīnu skaita un izvietojuma ietekmi, kā arī noteiktu turbīnu galīgo izvietojumu parkā.

Lai mazinātu putnu sadursmes un veicinātu videi draudzīgu vēja enerģijas ražošanu, piemēram, Norvēģijā tiek izstrādāti dažādi inovatīvi risinājumi, kā arī testēti un uzlaboti vairāki ģeogrāfiskās informācijas sistēmās balstīti rīki. Izstrādātie risinājumi, kā ultravioletā starojuma izmantošana, radaru un attēlu apstrādes sistēmas, tiek izmēģināti Smolas VES parkā [17]. Vairākās valstīs tiek lietoti dažādi pasīvie vizuālie atbaidītāji – torņu un lāpstiņu krāsošana, zīmējumi –, lai gan ES ir vietas, kur tie nav atļauti. Piemēram, Francijā vēja turbīnām jābūt vienmērīgi baltām vai gaiši pelēkām.

Ir veikti eksperimenti, pielietojot turbīnu īslaicīgas apstā-





Putnu monitorings jānodrošina VES pirmsbūvniecības un būvniecības, kā arī ekspluatācijas fāzē

dināšanas metodi. Tā ir putnu sadursmju novēršanas metode, kas turklāt rada minimālus kopējās enerģijas ražošanas zaudējumus. Taču tās izmantošanai visa gada garumā nepieciešami prasmīgi speciālisti, un tās uzturēšanas izmaksas ilgtermiņā var būt lielas. Līdz ar to visefektīvāk tā darbojas īsos un paredzamos laika posmos, piemēram, migrācijas sezonā. Dažos gadījumos izmanto video atklāšanas sistēmu *DtBird®104*. Tā ir automātiska putnu monitoringa un / vai mirstības mazināšanas sistēma lietošanai sauszemes un jūras VES parku teritorijās. Šī sistēma automātiski identificē putnus un var patstāvīgi veikt divas darbības, lai pazeminātu sadursmes risku: izdot aktīvas brīdinājuma skaņas un / vai apturēt turbīnu [18]. Šeit pieminētās un arī citas līdzīgas tehnoloģijas ir radītas, lai pēc iespējas mazinātu VES ietekmi uz savvaļas putniem, tādējādi arvien ciešāk harmonizējot atjaunīgās enerģijas ražošanu ar vidi, kurā tas tiek darīts.

Ietekme uz putnu pasauli ir tikai viens no faktoriem, kas jāņem vērā, attīstot vēja parkus. VES attīstības kontekstā jāreķinās arī ar sikspārņiem. No pētījumiem [23] ir zināms, ka vislielākā VES ietekme uz sikspārņiem izpaužas mežmalu, ūdensteču un ūdenstilpju tuvumā, kur novērojama to koncentrēšanās, kā arī rudens migrācijas periodā no jūlija beigām līdz oktobra sākumam (90% gadījumu), it īpaši siltās ($> 10^{\circ}\text{C}$) lēna vēja ($< 6\text{m/s}$) vai bezvēja naktīs bez nokrišņiem. Jāpiemin, ka sikspārņi atšķirībā no putniem, kuru bojāeja pie vēja turbīnām ir vairāk nejauša rakstura, lielākoties apzināti tuvojas VES – gan tāpēc, ka šie objekti noteiktos apstākļos piesaista kukaiņus, sikspārņu barības bāzi, gan atsevišķos gadījumos ar nolūku izmantot VES kā apmešanās vietu (mītņi), gan uztverot rotoru torņus kā vertikālus ainavas elementus jeb orientierus.

Tā kā Latvijā nav normatīvo aktu un vadlīniju ietekmes uz sikspārņiem novērtēšanai, tiek izmantotas Eiropas sikspārņu populāciju aizsardzības vadlīnijas jeb saīsināti *Eurobats* [23]. Atbilstoši šīm vadlīnijām VES būtu jāizvieto ārpus teritorijām, kurās ir liela sikspārņu aktivitāte vai mītnes. Vadlīnijās ir norādīti minimālie attālumi no mežu platībām un lineāriem elementiem (ko sikspārņi izmanto pārvietošanās ceļiem). Vadlīnijas pieļauj vēja turbīnu izvietošanu mežos Ziemeļeiropā, ja vien tiek piemēroti adekvāti vēja turbīnu darbības regulējumi un tiek veikts sikspārņu aktivitātes un bojāejas monitorings pēc vēja turbīnu darbības sākšanas.

Jaunākie pētījumi [26] liek domāt, ka vēja turbīnas var piesaistīt sikspārņus arī tad, ja pirms VES ierīkošanas kon-

statēta maza sikspārņu aktivitāte un iespējamo sadursmju risks novērtēts kā minimāls. Tādēļ pirmos divus gadus pēc VES palaišanas jāveic sikspārņu monitorings un jāparedz iespēja ierobežot VES ekspluatāciju sikspārņu bojāejas vai paaugstināta bojāejas riska dēļ. Šādos pasākumus sikspārņu eksperti jeb hiropterologi iesaka iekļaut arī Latvijā VES parku IVN atzinumos [21]. Lai mazinātu sikspārņu bojāejas risku, tiek ieteikts VES uzstādīt automātiski regulējamo režīmu (*bat mode*) – turbīnu darbības apturēšana sikspārņu migrācijai nozīmīgos periodos [3]. Katrs vēja parks ir jāizvērtē ļoti individuāli, jo to potenciālā ietekme uz sikspārņu po-

populāciju var būtiski atšķirties, un vēja parki jāizbūvē vietās, kur sagaidāmā ietekme uz sikspārņiem ir nebūtiska. Efektīvs veids, kā samazināt vēja parku potenciālo ietekmi uz sikspārņu populāciju, ir izveidot dažādas atbaidīšanas ierīces, lai VES ekspluatācijas laikā nodrošinātu, ka sikspārņi šīs teritorijas neizvēlas kā pārvietošanās vai barošanās vietas.

Bat mode ir šobrīd visplašāk izmantotais risinājums, taču aktīvi norit arī jaunu metožu meklēšana, kas pamatā vērstas uz sikspārņu atbaidīšanu, piemēram, ultraskaņas ģeneratoru izvietošana uz turbīnām – tā tiek radīta sikspārņiem nepatīkama, bet cilvēkiem nedzirdama augstas frekvences skaņa, lai panāktu to izvairīšanos no vēja parkiem [27] un jau izbūves laikā garantētu, ka nākotnē tiktu samazināta potenciālā ietekme uz sikspārņu populāciju. Otra metode ir kukaiņu atbaidīšana, kas padara rotoru mazāk interesantu sikspārņiem kā potenciālo barošanās vietu. Pērn ASV pētnieku grupa Edvarda Ārneta (*Edward Arnett*) vadībā veica pirmo šādas ierīces darbības efektivitātes pārbaudi, kur izpētē iekļautajos vēja parkos dažām turbīnām piestiprināja ultraskaņu raidošas ierīces, bet citām ne. Tika veikta bojāgājušo sikspārņu uzskaitē pirms eksperimenta un divus gadus eksperimenta laikā. Pētījumā secināts, ka šādas ierīces ir efektīvas un samazina potenciālo ietekmi uz sikspārņu populāciju vēja parku tiešā tuvumā.

Pētnieki Vācijā ir izstrādājuši bezmaksas programmatūru [9], lai aprēķinātu VES darbības apstādīšanas algoritmus. Lietotne kalkule konkrētās turbīnas minimālo vēja darbātumu, lai līdz noteiktam līmenim samazinātu sikspārņu mirstību, un piedāvā iespēju novērtēt apstādīšanas radītos ieņēmumus zaudējumus. Programmatūra ir pieejama izmantošanai visā Vācijas teritorijā, un dažās federālajās zemēs tā ir obligāta. Programmatūras piemērotību un precizitāti gan būtu nepieciešams pārbaudīt arī citās Eiropas valstīs.

Savukārt kāda projekta ietvaros ASV rietumos tika uzstādīti infrasarkanie sensori pie sikspārņu mītnes ieejas, lai brīdinātu, kad sikspārņi vakarā pamet alu. Projektā sākotnēji izmantoja radaru, lai teritorijā novērtētu apdraudējumu gan putniem, gan sikspārņiem, taču tagad pilnībā palaujas uz infrasarkanajiem sensoriem, lai noteiktu, kad katru nakti apstādīnāt VES [25]. Šis ir risinājums, kas prasa nelielas izmaksas un resursus, bet tajā pašā laikā atrisina alu mainīgās apdzīvotības jautājumu.

Kā liecina Eiropā un Ziemeļamerikā apkopotie dati, VES apstādīšana vai minimālā vēja darbātuma palielināšana ir

vienīgie pārbaudītie veidi, kā samazināt potenciālo ietekmi uz sīkspārņu populāciju.

VES un to saistītās infrastruktūras atbilstīga izvietošana ir loģiskākais ietekmes mazināšanas pasākums, kas ļauj izvairīties no negatīvas ietekmes ne tikai uz putniem un sīkspārņiem, bet savvaļas augiem un dzīvniekiem kopumā. Pateicoties tehnoloģiju uzlabojumiem, vēja enerģijas izmantošana spēj gan nodrošināt atjaunīgās enerģijas ražošanu un veicināt dabas aizsardzību, gan draudzīgi pastāvēt līdzās dabai un cilvēkiem, neatstājot negatīvas sekas.

VES tehnoloģiju ietekme uz cilvēku veselību

Mūsdienu sabiedrība ir pieradusi pie komforta, ko sniedz elektroenerģija, un lielam vairumam no mums dzīvi bez tās ir grūti iedomāties. ES zaļais kurss, kā arī uzņemtais virziens uz arvien plašāku elektrifikāciju būtībā visos tautsaimniecības sektoros elektroenerģijas pieprasījumu tikai vairo, ne mazinās. Enerģijas ģenerācija vēja elektrostacijās uzskatāma par vienu no tirākajiem un drošākajiem enerģijas ģenerēšanas veidiem, taču izvairīties no jebkādas ietekmes uz apkārtējo vidi un sabiedrību nav iespējams. Tāpēc, attīstot vēja parkus, tiek rūpīgi pētīti vairāki apkārtējo vidi ietekmējoši faktori.

Kā viens no faktoriem, kas vēja parku darbības laikā var ietekmēt apkārtējo cilvēku drošību, it īpaši mūsu platuma grādos, ir apledošanas veidošanās gada aukstajā periodā. Apledojums galvenokārt rodas mitrā un aukstā klimatā, ūdenim noslāņojoties un sasalstot uz vēja turbīnas spārnēm. Tas rada gan ražošanas potenciāla, gan drošības riskus – piemēram, VES spārnu apledošana samazina spārna aerodinamiskos raksturlielumus un palielina vibrācijas līmeni, kas pazemina VES darbības efektivitāti un rada augstāku turbīnas nolietojumu. Novērojams arī neprecīzu mērījumu risks un drošības riski, ledus gabaliem atdaloties no spārnēm [2].

Lai izvairītos no apledošanas radītās ietekmes, vēja turbīnās tiek izmantotas pretapledošanas un atledošanas tehnoloģijas. Pretapledošanas tehnoloģiju uzdevums ir neļaut uz spārnēm izveidoties ledus kārtai. Šāda veida sistēmu tehniskie risinājumi atšķiras – sākot no silta gaisa cirkulēšanas sistēmām spārnu iekšienē līdz uzsilstošu oglekļa elementu izmantošanai uz spārnu virsmas [3]. Papildus šīs sistēmas tiek arī aprīkotas ar

sensoriem, kamerām un mērinstrumentiem laicīgai apledojuma riska identificēšanai. To galvenais uzdevums ir efektīvi identificēt un novērst apledojuma veidošanos vai atbrīvoties no apledojuma, ja tāds izveidojies.

Pretapledošanas un atledošanas sistēmas tiek izmantotas būtībā visos vēsos un pat arktiskos apstākļos strādājošos vēja parkos, ļaujot tiem droši un efektīvi darboties, izmantojot vēso reģionu priekšrocības – mazāku apdzīvotību un augstāku gaisa blīvumu [2], kas ļauj ražot vairāk elektroenerģijas, atstājot mazāku ietekmi uz vidi. Taču VES industrija tiek izstrādāti un lietoti arī citi risinājumi – piemēram, spārnu atledošana, izmantojot ultraskaņas viļņus, kas uzskatāma par lētāku un energoefektīvāku alternatīvu [4], kā arī no aviācijas industrijas aizņemtais pretledus pārklājums, kas uzklāts uz turbīnu spārnēm, aizkavē ledus veidošanos un atvieglo atledošanu [5]. Šīs tehnoloģijas veicina vēja parku attīstību aukstākā klimatā, kur apdzīvotības blīvums ir ievērojami zemāks, taču vēja resurss nereti ir krietni augstāks.

Cits cilvēku labbūtnību potenciāli ietekmējošs vēja turbīnu radīts faktors ir mirguļošana, ko rada rotora lāpstiņu kustība, tām periodiski aizsedzot sauli un veidojot kustīgas ēnas uz zemes un dažādu objektu virsmas [6]. Mirguļošana var kļūt traucējoša brīdī, kad lāpstiņu ēna skar pagalmu vai dzīvojamo māju. Jāpiemin, ka, lai šis efekts būtu bīstams cilvēku veselībai, mirguļošanai būtu jābūt intensīvākai (vismaz 3–60 hercu (Hz) frekvencē), nekā tas normāli novērojams vēja turbīnu gadījumā. Mūsdienu modernie lieljaudas vēja turbīnu rotorī rada daudz lēnāku mirguļošanu – parasti 0,3 un 1 Hz robežās. Nav pierādīta šādas mirguļošanas tieša ietekme uz cilvēku veselību, taču tā vērtējama kā traucējoša [6]. Līdz ar to šis faktors ir jāņem vērā, attīstot vēja parkus.

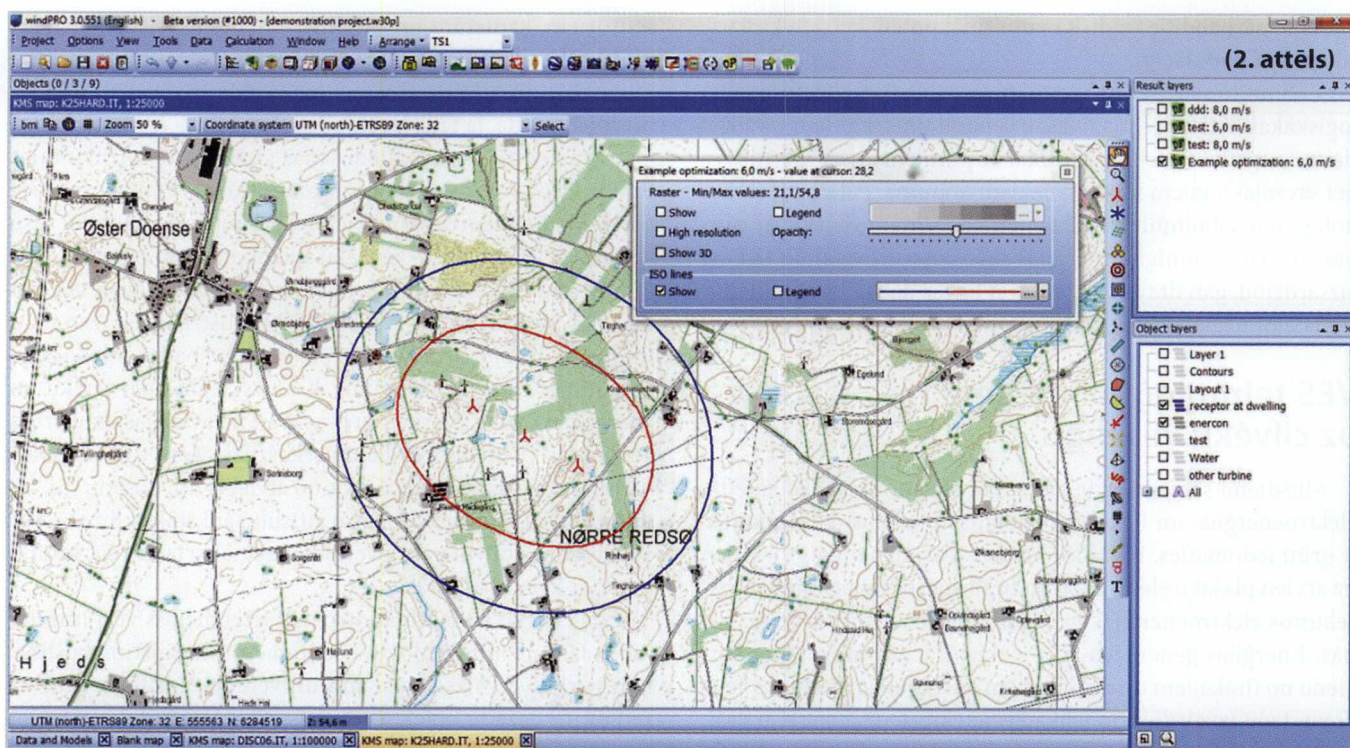
Pētījumi liecina, ka sūdzības par mirguļošanas efektu biežāk ir saistītas tieši ar vispārējo attieksmi pret vēja turbīnām, nevis paša mirguļošanas efekta radītajiem apgrūtinājumiem [7]. Taču, neraugoties uz to, vēja turbīnu ražotāji izmanto dažādus risinājumus, lai mazinātu šo traucējošo ietekmi vai pat lielā vairumā gadījumu no tās atbrīvotos pilnībā. Sistēmas, kurās kopā darbojas gaismas sensori, GPS uztvērēji un īpaši veidoti algoritmi, palīdz pielāgot vēja parka darbību tā, lai konkrēta turbīna tiktu apturēta brīdī, kad tās ēnai ir potenciāls radīt traucējošu mirguļošanas efektu [8]. Šīs sistēmas tiek plaši izmantotas un samazina mirguļošanas radīto diskomfortu līdz minimumam.

Mirguļošanas efekts ir viegli identificējams, toties turbīnu radītais trokšņa piesārņojums un tā efekts uz cilvēkiem ir faktors, kura ietekmi grūti nepārprotami novērtēt. ES un citur pasaulē veiktie pētījumi liecina, ka vēja elektrostaciju trokšņa piesārņojums var radīt traucējumus to tuvumā dzīvojošiem cilvēkiem, bet nav zinātniski pierādīta tā kaitīgā ietekme uz cilvēku veselību [6]. Pētījumos arī ir secināts, ka tas, kā tiek uztverta turbīnu radītā skaņa, lielā mērā ir atkarīgs no vēja parka vizuālās ietekmes apkārtējā vidē un vispārējās attieksmes pret vēja turbīnām [9].

Vēja turbīnu trokšņa piesārņojums to darbības laikā galvenokārt veidojas



Mūsu platuma grādos, lai izvairītos no apledošanas radītās ietekmes, vēja turbīnās tiek izmantotas pretapledošanas un atledošanas tehnoloģijas



Trokšņa piesārņojuma modelēšana izmantojot WindPro [36]

dīvējādi: mehāniskais troksnis, kas rodas mehānisko komponentu – ģeneratora un transmisijas – darbības dēļ, kā arī aerodinamiskais jeb turbulento plūsmu troksnis, kas veidojas, rotora lāpstiņām šķeļot gaisu. Tieši aerodinamiskais troksnis – impulsvēda, svelpjoša skaņa – tiek uzskatīts par būtiskāko traucējošās skaņas avotu [6]. Tas vislabāk dzirdams tiešā vēja turbīnas tuvumā, un skaņas ietekme samazinās, attālinoties no turbīnas. Jāpiemin arī trokšņa piesārņojums, kas rodas VES izbūves laikā, kad tiek veikta iekārtu un materiālu transportēšana, taču tas uzskatāms par īslaicīgu traucēkli.

Papildus tam vēja turbīnu kontekstā nereti tiek pieminēta arī infraskaņas radītā ietekme. Infraskaņa padziļināti tikusi pētīta Bādenes-Virtembergas Vides, mērījumu un dabas aizsardzības valsts institūta (*Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg*) 2016. gadā publicētajā pētījumā “Zemas frekvences trokšņi, tajā skaitā infraskaņa no vēja turbīnām un citiem avotiem” (*Low-frequency noise incl. infrasound from wind turbines and other sources*) [16]. Pētījumā secināts, ka infraskaņas mērījumi 700 m attālumā no darbojošās vēja turbīnas ievērojami neatšķiras no mērījumiem tajā pašā vietā, ja turbīna ir izslēgta. Tas liek secināt, ka infraskaņu galvenokārt ģenerē pats vējš, nevis turbīnas. Pētījumā arī norādīts, ka infraskaņas līmenis ir krietni zemāks par cilvēkam uztveramo, un vibrācijas, ko rada vēja turbīnas, ir minimālas jau 300 m attālumā no tām [16].

Vēja turbīnu ražotāji strādā pie tā, lai turbīnas kļūtu arvien klusākas, tiek veikti nemitīgi uzlabojumi gan turbīnu spārnu dizainā [10] un skaņu samazinoša materiāla izvēlē [11], gan turbīnu tehniskajos risinājumos, piemēram, izmantojot vēja turbīnas bez transmisijas. Tomēr pilnībā izslēgt turbīnu darbības radīto trokšņa piesārņojumu nav iespējams, tāpēc likumā un Ministru kabineta noteikumos ir iestrādāti strikti normatīvi trokšņa novērtēšanai, kartēšanai un piemērošanai konkrētam projektam [6]. Šie noteikumi palīdz minimizēt

trokšņa piesārņojuma ietekmi uz vēja parka apkārtnē dzīvojošajiem cilvēkiem un regulē darbības, kas varētu šo cilvēku komfortu samazināt.

Taču nereti tieši šo faktoru esamība, nevis to faktiskā ietekme uz vidi vai cilvēkiem rada vēl kādu fenomenu – vēja turbīnu sindromu. Vēja turbīnu sindroms ir termins, kas tiek izmantots, lai izskaidrotu dažādus ar vēja turbīnām, piemēram, zemas frekvences troksni, saistītus simptomus, kuri varē no galvassāpēm, nelabuma un miega traucējumiem līdz pat dramatiskai ietekmei uz lopu ganāmpulkiem un ražas apjomu [12]. Taču realitātē vēja turbīnu sindroms nav oficiāli atzīta slimība un principā uzskatāms par psiholoģisku fenomenu, kad cilvēki tieši ar vēja turbīnām nesaistītus simptomus pieskaita ietekmei no apkārtnē esoša vēja parka [14].

Kā grāmatā “Vēja turbīnas sindroms: izplatīta slimība” (*Wind turbine syndrome: A communicated disease*) raksta Saimons Čepmens (*Simon Chapman*), turbīnu sindroms nav nekas jauns, tā ir dabiska cilvēku psiholoģiskā reakcija uz jauno un daļēji nezināmo. Līdzīgi tas pagātnē bijis arī ar dzelzceļu, televizoriem, mikroviļņu krāsnīm, mobilajiem telefoniem un virkni citu mūsdienās jau tik ikdienišķu tehnoloģiju. Parasti šādas bažas rodas nelielā auditorijā, attīstās un strauji izplatās, tiklīdz sastrukturētā veidā nonāk interneta vidē. Vēja turbīnu sindroms reti ir saistīts ar konkrētu vēja turbīnu ietekmi uz veselību, bet visbiežāk tieši ar attieksmi pret tām. Taču tas ir jāņem vērā, lai izprastu iesaistīto pušu psihoemocionālo fonu un veicinātu sadarbību vēja parku izbūvē. [13]

VES dzīves cikls

Visbeidzot, diskutējot par AER, tai skaitā vēja, enerģijas izmantošanas ietekmi uz vidi, ir būtiski raudzīties plašāk un vērtēt visu iekārtas darbības dzīves ciklu – “no šūpuļa līdz kapam”. Dzīves cikla analīze raksturo produkta ražošanai, pārvadāšanai, lietošanai un utilizēšanai izmantotos resursus,

radītos atkritumus un piesārņojošo vielu emisijas, kā arī citu veidu ietekmi uz vidi – atkarībā no izmantotās analīzes metodes un definētajām izpētes robežām. Vēja turbīnas dzīves cikls ietver šādus galvenos posmus:

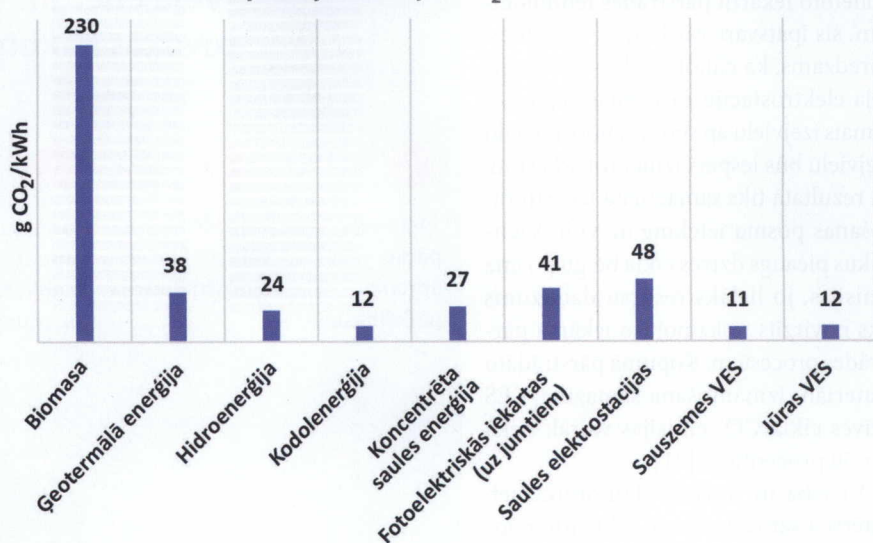
- izejvielu iegūšana (piemēram, dzelzs, cinks, varš) un materiālu ražošana (piemēram, kompozītmateriāli, metālu sakausējumi) iekārtu izgatavošanai,
- iekārtas sastāvdaļu ražošanas process,
- transports – izejvielu transportēšana līdz ražošanas vietai, kā arī saražotu iekārtu piegāde līdz montāžas vietai,
- būvniecība – zemes transformācija (tajā skaitā atmežošana), infrastruktūras un vēja stacijas izbūves procesi,
- ekspluatācija – enerģijas ražošanas process, iekārtu apkopes, remontu un uzturēšanas darbi,
- dzīves cikla beigas – iekārtu demontāža, pārstrāde, materiālu atgūšana, atkritumu apsaimniekošana.

Produktu dzīves cikla analīze ir zinātniska metode un aptver svarīgākās ietekmes uz vidi, ko rada zemes izmantošana, resursu patēriņš un piesārņojošo vielu emisijas, un šīs metodes pamatprincipi tiek plaši lietoti, lai novērtētu atsevišķas ietekmes kategorijas, konkrētus vides indikatorus vai noteiktu robežas analizētajiem dzīves cikla posmiem.

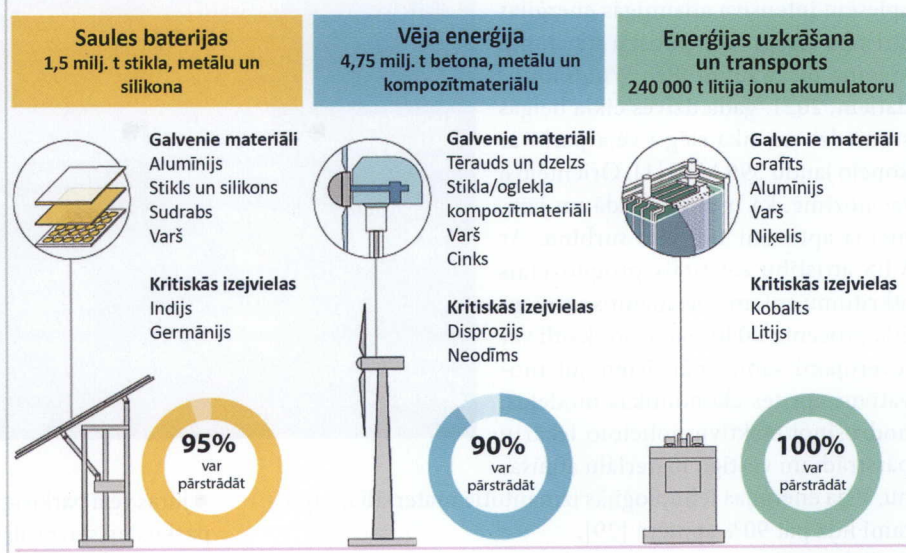
Dažādu enerģijas veidu ietekmes uz vidi salīdzināšanai kā indikatoru bieži izmanto SEG jeb oglekļa dioksīda (CO_2) ekvivalenta apjomu uz saražotās enerģijas vienību. Klimata pārmaiņu jeb SEG emisiju kontekstā AER nereti tiek uzskatīti par “nulles emisiju” enerģijas avotiem, tomēr šis apgalvojums ir attiecināms tikai uz enerģijas ražošanas posmu, kurā radītās CO_2 emisijas ir maznozīmīgas. Dzīves cikla analīze sniedz iespēju pārliecināties par AER izmantošanas patieso ilgtspēju un parāda atšķirības starp zaļajiem enerģijas avotiem.

Atbilstoši veiktajām izpētēm vēja enerģija sava dzīves cikla laikā sasniedz vienu no zemākajiem CO_2 emisiju rādītājiem uz saražotās elektroenerģijas vienību, salīdzinot ar citiem enerģijas avotiem. Piemēram, elektroenerģijas ražošana, izmantojot dabasgāzi kombinēta cikla elektrostacijās, dzīves cikla laikā rada ap 490 gramiem oglekļa dioksīda uz vienu saražoto kilovatstundu ($\text{g CO}_2/\text{kWh}$), bet, izmantojot koksnī, emisijas sasniedz 230 $\text{g CO}_2/\text{kWh}$. Savukārt VES saražotā elektroenerģija rada tikai 11 $\text{g CO}_2/\text{kWh}$ [26]. Neapšaubāmi faktiskais rādītājs konkrētai VES var variēt atkarībā no izmantotajām tehnoloģijām, iekārtu ražotājiem un piegādātājiem, iekārtu kvalitātes un kalpošanas ilguma, stacijas izbūves vietas un daudziem citiem faktoriem, kas vienā vai vairākos dzīves cikla posmos var ietekmēt kopējās dzīves cikla CO_2 emisijas.

No dažādiem energoresursiem saražotās elektroenerģijas (3. attēls) dzīves cikla īpatnējās emisijas CO_2 ekvivalentā [34]



Dažādu tehnoloģiju ražošanā izmantotie materiāli un to pārstrādes iespējas [32]



Kā zināms, VES nav pastāvīgs elektroenerģijas ražošanas avots, un, tam darbojoties energosistēmā, ir nepieciešamas ražošanas jaudas un tehnoloģijas, kas nodrošina VES darbības balansēšanu un izstrādātās elektroenerģijas akumulāciju. *Power-to-X* jeb enerģijas pārveides un uzkrāšanas risinājumi, kas nodrošina AER integrēšanu energosistēmā, līdztekus iepriekšminētajiem faktoriem ietekmē VES saražotās elektroenerģijas netiešās CO_2 emisijas. Efektīva fosilo energoresursu elektrostaciju darbība, zemo emisiju enerģijas avoti, nodrošinot VES balansēšanu, kā arī *Power-to-X* tehnoloģiju attīstība (piemēram, ūdeņraža izmantošana) ir viens no priekšnosacījumiem ilgtspējīgai vēja enerģijas izmantošanai.

Ne mazāk svarīgs aspekts VES dzīves cikla ietvaros ir vērtīgo materiālu izmantošana, to atgūšanas iespējas un atkritumu apsaimniekošana iekārtu dzīves cikla beigās. Līdz šim veiktie vēja elektrostaciju dzīves cikla pētījumi liecina, ka ap 80% SEG un piesārņojošo vielu emisiju rodas vēja elektros-

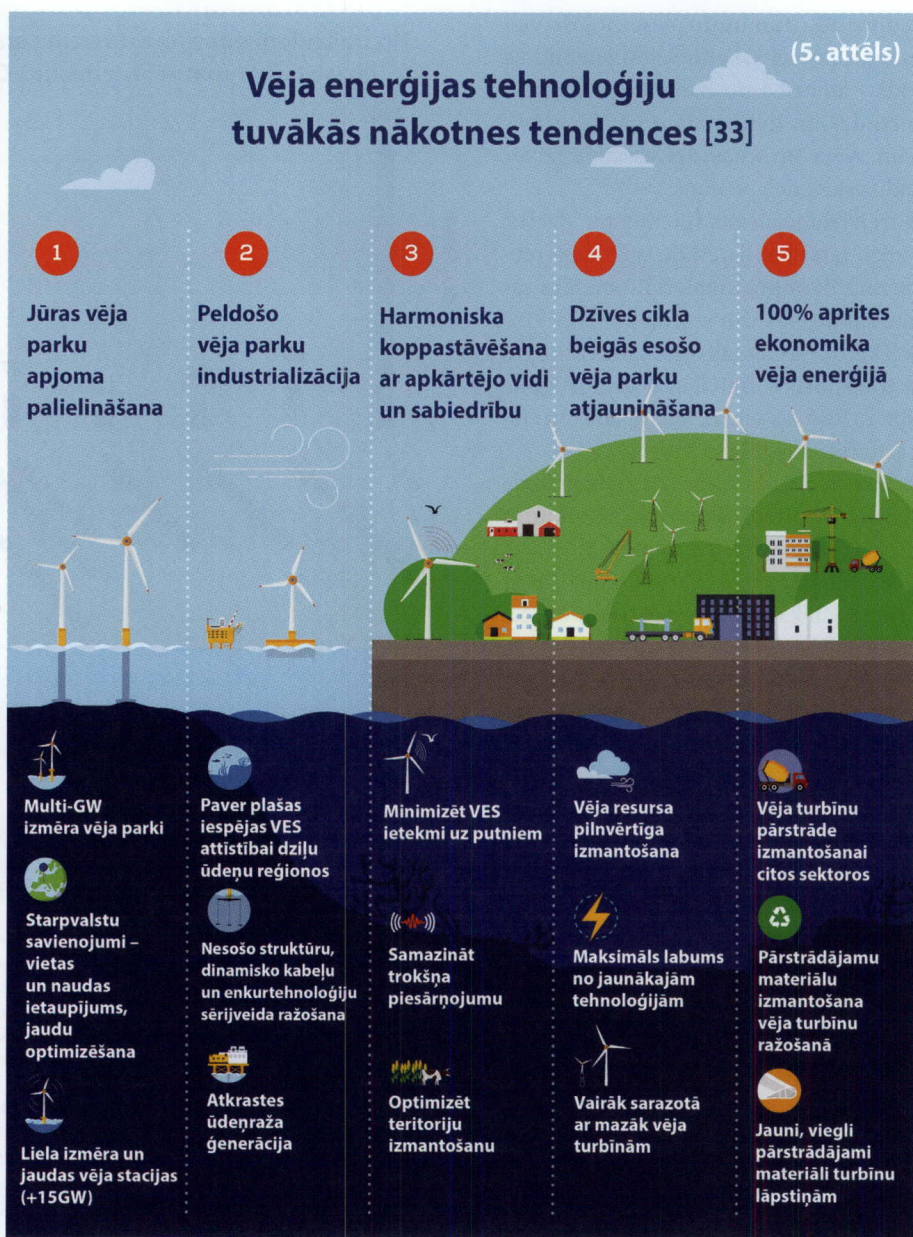
ciju ražošanas fāzē (ietverot izejvielu iegūšanu) [28], [29], tomēr, attīstoties nolietoto iekārtu pārstrādes tehnoloģijām, šis īpatsvars var būtiski mainīties. Paredzams, ka nākotnē tiks samazināts vēja elektrostaciju ražošanai nepieciešamais izejvielu apjoms un būtisku daļu izejvielu būs iespēja izmantot atkārtoti, kā rezultātā tiks samazināta iekārtu ražošanas posma ietekme uz vidi. Vienlaikus pieaugs dzīves cikla beigu posma emisijas, jo lielāks resursu daudzums tiks novirzīts nokalpojušo iekārtu pārstrādes procesiem. Kopumā pārstrādāto materiālu izmantošana samazina VES dzīves cikla CO₂ emisijas vairāk nekā par 50 procentiem [31].

Virzība uz aprites ekonomiku jeb patēriņa samazināšana, atkritumu apjoma minimizēšana, atgriežot apritē vērtīgās izejvielas un pagarinot produktu aprites ciklu, ir viena no Eiropas zaļā kursa prioritātēm. Atbilstoši Eiropas Vides aģentūras (EEA) veiktajām aplēsēm intensīva atjaunīgās enerģijas attīstība varētu radīt būtisku atkritumu apjoma pieaugumu. Pēc *WindEurope* datiem, 2021. gadā dzīves cikla beigas sasniedza un tika slēgti vēja parki ar kopējo jaudu 396 MW [1]. Orientējoši tas nozīmē, ka ir jāpārstrādā un jāiznīcina aptuveni 100 vēja turbīnu. Ar VES attīstību saistītais prognozētais atkritumu apjoma pieaugums sasniegs 200 procentu 2030. gadā. Šo skaitli var ievērojami samazināt, īstenojot inovatīvus aprites ekonomikas modeļus, nodrošinot efektīvu nolietoto iekārtu pārstrādi un vērtīgo materiālu atgūšanu. Vēja enerģijas tehnoloģijās izmantotie materiāli ir atgūjami līdz pat 90% apmērā [29].

Galvenie izaicinājumi, kas tiek risināti ES līmenī, veicinot efektīvu materiālu apriti, ir saistīti ar nepieciešamību attīstīt iekārtu ekodizainu (šobrīd tiek izmantoti kompozītmateriāli, kuru pārstrāde ir apgrūtināta), kā arī nolietoto iekārtu pārstrādes tehnoloģijas un jaudas. Jaunās tehnoloģijas vairs nav tālas nākotnes jautājums: šī gada martā projekta ZEBRA (*Zero waste Blade Re-seArch*) ietvaros publicēta informācija, ka ir radīts pirmais 100% pārstrādājamas vēja turbīnas lāpstiņas prototips [30].

Vēja enerģijas industrija šodien un tuvākajā nākotnē

Vēja enerģija spēlē nozīmīgu lomu elektroenerģijas ģenerācijā globālā mērogā. Paredzams, ka šī attīstība turpināsies un VES saražotais elektroenerģijas apjoms ar katru gadu tikai palielināsies. Ieskiecējot galvenos nākotnes virzienus vēja enerģijā, varam sagaidīt strauju gan jūras, gan sauszemes vēja parku attīstību. *WindEurope* prognozē [15], ka galvenā attīstība paredzama piecos virzienos:



- jūras vēja parku apjoma palielināšana, veidojot plašākus vēja parkus ar starpvalstu savienojumiem un izmantojot arvien lielākas un jaudīgākas vēja turbīnas,
 - peldošo vēja parku industrializācija, atklājot jaunas iespējas vēja enerģijas ieguvei dziļos ūdeņos, tam nepieciešamo tehnoloģiju attīstība, kā arī peldošo vēja parku apvienošana ar ūdeņraža tehnoloģijām,
 - tehnoloģisko risinājumu attīstīšana, lai vēl veiksmīgāk sadzīvotu ar apkārtējo vidi un veicinātu sabiedrības atbalstu vēja parku izbūvei, tajā skaitā minimizētu ietekmi uz putniem, samazinātu skaņas emisijas un optimizētu izmantoto zemes platību,
 - esošo projektu pārplānošana, lai maksimāli efektīvi izmantotu tehnoloģiskos sasniegumus un vēja resursu, reizē samazinot nepieciešamo turbīnu apjomu,
 - aprites ekonomikas principu pielietošana arī vēja enerģētikā, pārstrādājot vēja turbīnu komponentes tālākai izmantošanai citos sektoros, lietojot pārstrādātus materiālus turbīnu ražošanai un viegli pārstrādājamus materiālus spārnu konstrukcijām.
- Papildinot iepriekš uzskaitītos attīstības virzienus un ņemot vērā to, ka vēja enerģētikas attīstība saistīta ar zemes transformāciju un ietekmi uz bioloģisko daudzveidību, ir sva-

rīgi plānot racionālu zemes izmantošanu, kas ļautu maksimāli:

- izmantot degradētās teritorijas, apvienot dažādus zemes izmantošanas mērķus,
- meklēt inovatīvus VES elementu konstruktīvos risinājumus,
- panākt kompromisu starp diviem svarīgajiem vides politikas aspektiem – klimata pārmaiņām un bioloģisko daudzveidību.

Vēja enerģija ir tikai daļa no kopējā globālā elektroenerģijas ražošanas portfeļa, taču tā uzskatāma gan par vienu no tirākajām, gan ekonomiski izdevīgākajām tā daļām. Rakstā pieminēti vairāki faktori, kas jāņem vērā, attīstot vēja parkus, taču, veiksmīgi sadarbojoties ar vietējām pašvaldībām, vērtējot un samazinot ietekmi uz vidi visos dzīves cikla posmos un izmantojot jaunākās tehnoloģijas, elektroenerģiju VES iespējams ražot droši un ar cieņu pret apkārtējo vidi. **E&P**

Literatūra

- [1] WindEurope. Wind energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022–2026. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2021-statistics-and-the-outlook-for-2022-2026/#presentations>
- [2] Parent O., Ilcin A. Anti-icing and de-icing techniques for wind turbines: Critical review. *Cold Regions Science and Technology*, volume 65, issue 1, 2011, pages 88–96. ISSN 0165-232X. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2010.01.005>
- [3] Dalili N., Edrisky A., Cariveau R. A review of surface engineering issues critical to wind turbine performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume 13, issue 2, 2009, pages 428–438. ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.11.009>
- [4] Wang Y., Xu Y., Lei Y. An effect assessment and prediction method of ultrasonic de-icing for composite wind turbine blades. *Renewable Energy*, volume 118, 2018, pages 1015–1023. ISSN 0960-1481. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.074>
- [5] Qin Ch. (Ch.), Mulrone A. T., Gupta M. C. Anti-icing epoxy resin surface modified by spray coating of PTFE Teflon particles for wind turbine blades. *Materials Today Communications*, volume 22, 2020. ISSN 2352-4928. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2019.100770>
- [6] Vides pārraudzības valsts birojs. Vadlīnijas vēja elektrostaciju ietekmes uz vidi novērtējumam un rekomendācijas prasībām vēja elektrostaciju būvniecībai. <https://www.vpvb.gov.lv/lv/media/827/download>
- [7] Haac R., Darlow R., Kaliski K., Rand J., Hoen B. In the shadow of wind energy: Predicting community exposure and annoyance to wind turbine shadow flicker in the United States. *Energy Research & Social Science*, volume 87, 2022. ISSN 2214-6296. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102471>
- [8] DNV. Shadow flicker protection system for wind turbines. <https://www.dnv.com/services/shadow-flicker-protection-system-for-wind-turbines-72275>
- [9] Pedersen E., Persson Wayne K. Perception and annoyance due to wind turbine noise—a dose–response relationship. *The Journal of the Acoustical Society of America* 116.6 (2004), pages 3460–3470.
- [10] Deshmukh Sh., Bhattacharya S., Jain A., Paul A. R. Wind turbine noise and its mitigation techniques: A review. *Energy Procedia*, volume 160, 2019, pages 633–640. ISSN 1876-6102. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.215>
- [11] Oerlemans St. et al. Reduction of wind turbine noise using optimized airfoils and trailing-edge serrations. *AIAA Journal*, volume 47, no. 6, 2009, pages 1470–1481.
- [12] Joshi K. (8 November 2012). The junk science of wind turbine syndrome. *Business Spectator*.
- [13] Chapman S., Crichton F. Wind turbine syndrome: A communicated disease. Sydney University Press, 2017.
- [14] Baloh R. W., Bartholomew R. E. Modern-day acoustical scares: From 'the hum' to 'wind turbine syndrome'. *Havana Syndrome*. Copernicus, Cham, 2020, pages 107–127.
- [15] WindEurope. Mega trends in wind energy technology. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/infographic-mega-trends-in-wind-energy-technology/>
- [16] Herrmann L. et al. Low-frequency noise incl. infrasound from wind turbines and other sources. *Inter-Noise and Noise-Con Congress and Conference Proceedings*, volume 253, no. 3, Institute of Noise Control Engineering, 2016.
- [17] Innovative Mitigation Tools for Avian Conflicts with Wind Turbines. <https://www.nina.no/english/Research/Projects/INTACT>
- [18] Bird Monitoring & Reduction of Collision Risk with Wind Turbines. <https://dtbird.com/images/pdfs/Brochure-DTBird.-March-2019.pdf>
- [19] Bergmanis U. Mazā ērgļa Clanga pomarina aizsardzības plāns Latvijā. Latvijas Dabas fonds, Rīga, 2019.
- [20] What Are the Threats to Birds? <https://www.fws.gov/library/collections/threats-birds>
- [21] Atzinumi par vēja elektrostaciju "Dobeles" un "Pienava" būvniecību Dobeles un Tukuma novados ietekmes uz vidi novērtējuma ziņojumos un vēja elektrostaciju parka "Laflora" būvniecības Jelgavas novada Livbērzes pagastā ietekmes uz vidi novērtējuma ziņojumu, Vides pārraudzības valsts birojs. <https://www.vpvb.gov.lv/lv/ietekmes-uz-vidi-novertejumu-projekti/veja-elektrostaciju-parku-dobeles-un-pienava-buvnieciba-dobeles-un-tukuma-novados>
- Atzinums par vēja elektrostaciju parka "Laflora" būvniecības Jelgavas novada Livbērzes pagastā ietekmes uz vidi novērtējuma ziņojumu. <https://www.vpvb.gov.lv/lv/ietekmes-uz-vidi-novertejumu-projekti/veja-elektrostaciju-parka-laflora-buvnieciba>
- [22] 2013. gada 30. aprīļa MK noteikumu Nr. 240 "Vispārīgie teritorijas plānošanas, izmantošanas un apbūves noteikumi" 163. punkts.
- [23] Rodrigues L., Bach L., Dubourg-Savage M.-J., Karapandža B., Kovač D., Kervyn T., Dekker J., Kepel A., Bach P., Collins J., Harbusch C., Park K., Micevski B., Minderman J. Guidelines for consideration of bats in wind farm projects – Revision 2014. Eurobats, Publication Series no. 6 (English version), UNEP/Eurobats Secretariat, Bonn, Germany, 2015, pp. 133. https://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/publications/publication_series/pubseries_no6_english.pdf
- [24] WindBat. http://windbat.techfak.fau.de/tools/index_en.shtml
- [25] Pētījums par infrasarkanās tehnoloģijas izmantošanu sikspārņu mītnu aktīvai pārvaldībai. <https://www.nationalwind.org/nwcc-2019-wind-wildlife-year-in-review>
- [26] Lintott P. R., Richardson S. M., Hosken D. J., Fensome S. A., Mathews F. Ecological impact assessments fail to reduce risk of bat casualties at wind farms. *Current Biology* 26, 2016, R1119–R1136.
- Rydell J., Bogdanowicz W., Boonman A., Pettersson S., Suchecka E., Pomorski J. J. Bats may eat diurnal flies that rest on wind turbines. *Mammalian Biology*, volume 81, issue 3, 2016, pages 331–339.
- [27] Weaver S. P., Hein C. D., Simpson Th. R., Evans J. W., Castro-Arellano I. Ultrasonic acoustic deterrents significantly reduce bat fatalities at wind turbines. *Global Ecology and Conservation*, volume 24, 2020. ISSN 2351-9894. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01099>
- [28] Bonou A., Laurent A., Olsen S. I. Life cycle assessment of onshore and offshore wind energy – From theory to application. *Applied Energy*, volume 180, 2016, pages 327–337.
- [29] LCA in Wind Energy. <https://www.wind-energy-the-facts.org/lca-in-wind-energy.html>
- [30] First Fully Recyclable Wind Turbine Blade Rolls Out. <https://www.offshorewind.biz/2022/03/17/first-fully-recyclable-wind-turbine-blade-rolls-out/>
- [31] Mello G., Ferreira Dias M., Robaina M. Wind farms life cycle assessment review: CO₂ emissions and climate change. *Energy Reports*, volume 6, supplement 8, 2020, pages 2014–2019.
- [32] Emerging waste streams: Opportunities and challenges of the clean-energy transition from a circular economy perspective. European Environment Agency, 2021. <https://www.eea.europa.eu/publications/emerging-waste-streams-opportunities-and>
- [33] WindEurope. Infographic – Mega trends in wind energy technology. <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/infographic-mega-trends-in-wind-energy-technology/>
- [34] Schlömer S., Bruckner T., Fulton L., Hertwich E., McKinnon A., Perczyk D., Roy J., Schaeffer R., Sims R., Smith P., Wisner R. Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., von Stechow C., Zwickel T. and Minx J. C. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf