

julij 2022
letnik 71

Gradbeni vestnik

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE IN
MATIČNE SEKCIJE GRADBENIH INŽENIRJEV INŽENIRSKA ZBORNICE SLOVENIJE



178

NEGOTOVOST KOT MERILO
ZANESLJIVOSTI MERITEV HRUPA V
OKOLJU

188

STEKLO V GRADBENIŠTVU IN
ARHITEKTURI

Gradbeni vestnik

Izdajatelj:

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije (ZDGITS),
Karlovska cesta 3, 1000 Ljubljana,
telefon 01 52 40 200
v sodelovanju z **Matično sekcijo gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije (IZS MSG),**
ob podpori **Javne agencije za raziskovalno dejavnost RS, Fakultete za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani, Fakultete za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo Univerze v Mariboru in Zavoda za gradbeništvo Slovenije**

Izdajateljski svet:

ZDGITS: **prof. dr. Matjaž Mikoš, predsednik**
izr. prof. dr. Andrej Kryžanowski
Dušan Jukić
IZS MSG: **mag. Gregor Ficko**
mag. Jernej Nučič
mag. Mojca Ravnar Turk
UL FGG: **doc. dr. Matija Gams**
UM FGPA: **prof. dr. Miroslav Premrov**
ZAG: **doc. dr. Aleš Žnidarič**

Uredniški odbor: **izr. prof. dr. Sebastjan Bratina, glavni in odgovorni urednik**
doc. dr. Milan Kuhta

Lektor: **Jan Grabnar**

Lektorica angleških povzetkov:
Romana Hudin

Tajnica: **Eva Okorn**

Oblikovalska zasnova: **Agencija GIG**

Tehnično urejanje, prelom in tisk:
Kočevski tisk

Naklada: 450 tiskanih izvodov
3000 naročnikov elektronske verzije

Podatki o objavah v reviji so navedeni
v bibliografskih bazah COBISS in ICONDA
(The Int. Construction Database) ter na
www.zveza-dgits.si

Letno izide 12 števil. Letna naročnina
za individualne naročnike znaša 23,16 EUR;
za študente in upokojene 9,27 EUR;
za družbe, ustanove in samostojne podjetnike
171,36 EUR za en izvod revije; za
naročnike iz tujine 80,00 EUR.
V ceni je všteti DDV.
Poslovni račun ZDGITS pri NLB Ljubljana:
SI56 0201 7001 5398 955

Slika na naslovnici:

projekt Dom24h, Marles hiše Maribor d. o. o.,
foto: arhiv Marles hiše Maribor d. o. o.

Glasilo Zveze društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije in
Matične sekcije gradbenih inženirjev Inženirske zbornice Slovenije.
UDK-UDC 05 : 625; tiskana izdaja ISSN 0017-2774;
spletna izdaja ISSN 2536-4332.
Ljubljana, julij 2022, letnik 71, str. 177-200

Navodila avtorjem za pripravo člankov in drugih prispevkov

1. Uredništvo sprejema v objavo znanstvene in strokovne članke s področja gradbeništva in druge prispevke, pomembne in zanimive za gradbeno stroko.
2. Znanstvene in strokovne članke pred objavo pregleda najmanj en anonimen recenzent, ki ga določi glavni in odgovorni urednik.
3. Članki (razen angleških povzetkov) in prispevki morajo biti napisani v slovenščini.
4. Besedilo mora biti zapisano z znaki velikosti 12 točk in z dvojnimi presledkom med vrsticami.
5. Prispevki morajo vsebovati naslov, imena in priimke avtorjev z nazivi in naslovi ter besedilo.
6. Članki morajo obvezno vsebovati: naslov članka v slovenščini (velike črke); naslov članka v angleščini (velike črke); znanstveni naziv, imena in priimke avtorjev, strokovni naziv, navadni in elektronski naslov; oznako, ali je članek strokoven ali znanstven; naslov POVZETEK in povzetek v slovenščini; ključne besede v slovenščini; naslov SUMMARY in povzetek v angleščini; ključne besede (key words) v angleščini; naslov UVOD in besedilo uvoda; naslov naslednjega poglavja (velike črke) in besedilo poglavja; naslov razdelka in besedilo razdelka (neobvezno); ... naslov SKLEP in besedilo sklepa; naslov ZAHVALA in besedilo zahvale (neobvezno); naslov LITERATURA in seznam literature; naslov DODATEK in besedilo dodatka (neobvezno). Če je dodatkov več, so ti označeni še z A, B, C itn.
7. Poglavja in razdelki so lahko oštevilčeni. Poglavja se oštevilčijo brez končnih pik. Denimo: 1 UVOD; 2 GRADNJA AVTOCESTNEGA ODSEKA; 2.1 Avtocestni odsek ... 3 ...; 3.1 ... itd.
8. Slike (risbe in fotografije s primerno ločljivostjo) in preglednice morajo biti razporejene in omenjene po vrstnem redu v besedilu prispevka, oštevilčene in opremljene s podnapisi, ki pojasnjujejo njihovo vsebino.
9. Enačbe morajo biti na desnem robu označene z zaporedno številko v okroglem oklepaju.
10. Kot decimalno ločilo je treba uporabljati vejico.
11. Uporabljena in citirana dela morajo biti navedena med besedilom prispevka z oznako v obliki oglatih oklepajev: [priimek prvega avtorja ali kratica ustanove, leto objave]. V istem letu objavljena dela istega avtorja ali ustanove morajo biti označena še z oznakami a, b, c itn.
12. V poglavju LITERATURA so uporabljena in citirana dela razvrščena po abecednem redu priimkov prvih avtorjev ali kraticah ustanov in opisana z naslednjimi podatki: priimek ali kratica ustanove, začetnica imena prvega avtorja ali naziv ustanove, priimki in začetnice imen drugih avtorjev, naslov dela, način objave, leto objave.
13. Način objave je opisan s podatki: knjige: založba; revije: ime revije, založba, letnik, številka, strani od do; zborniki: naziv sestanka, organizator, kraj in datum sestanka, strani od do; raziskovalna poročila: vrsta poročila, naročnik, oznaka pogodbe; za druge vrste virov: kratek opis, npr. v zasebnem pogovoru.
14. Prispevke je treba poslati v elektronski obliki v formatu MS WORD glavnemu in odgovornemu uredniku na e-naslov: sebastjan.bratina@fgg.uni-lj.si. V sporočilu mora avtor napisati, kakšna je po njegovem mnenju vsebina članka (pretežno znanstvena, pretežno strokovna) oziroma za katero rubriko je po njegovem mnenju prispevek primeren.

Uredništvo

ČLANKI PAPERS

dr. Ferdinand Deželak, univ. dipl. inž. geod., dipl. inž. fiz.
doc. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.

**NEGOTOVOST KOT MERILO ZANESLJIVOSTI
MERITEV HRUPA V OKOLJU**
**UNCERTAINTY AS A CRITERION OF RELIABILITY
FOR ENVIRONMENTAL NOISE MEASUREMENTS**

178

Količina	Ocena	Standardna negotovost	Občutljivostni koeficient
$L' + \delta_{\text{rel}}$	L'	$u(L') (0.5 \text{ dB})$	$\frac{1}{1 - 10^{-0.1(L' - L_{\text{ref}})}}$
δ_{ref}	0	u_{ref}	1
δ_{ref}	0	u_{ref}	1
δ_{rel}	0.0 - 6.0	u_{rel}	1
$L_{\text{ref}} + \delta_{\text{ref}}$	L_{ref}	u_{ref}	$\frac{10^{-0.1(L' - L_{\text{ref}})}}{1 - 10^{-0.1(L' - L_{\text{ref}})}}$

Rudi Hajdinjak, univ. dipl. inž. str.

STEKLO V GRADBENIŠTVU IN ARHITEKTURI
GLASS IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

188



POROČILO S STROKOVNEGA SREČANJA

GBC Slovenija

IMPLEMENTACIJA TRAJNOSTNIH KRITERIJEV V BIM

193



FOTOREPORTAŽA Z GRADBIŠČA

Pomgrad, d. d.

FARMA CVEN – MONTAŽNA AB SKELETNA KONSTRUKCIJA

198



NOVI DIPLOMANTI

Eva Okorn

KOLEDAR PRIREDITEV

Eva Okorn

dr. Ferdinand Deželak, univ. dipl. inž. geod., dipl. inž. fiz.
ferdo.dezelak86@gmail.com
Slovensko društvo za akustiko,
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana



doc. dr. Mateja Dovjak, dipl. san. inž.
mdovjak@fgg.uni-lj.si
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Univerze v Ljubljani,
Jamova cesta 2, 1000 Ljubljana



Znanstveni članek
UDK 543.836

NEGOTOVOST KOT MERILO ZANESLJIVOSTI MERITEV HRUPA V OKOLJU

UNCERTAINTY AS A CRITERION OF RELIABILITY FOR ENVIRONMENTAL NOISE MEASUREMENTS

Povzetek

Negotovost kot merilo zanesljivosti se je uveljavila na vseh področjih, ki temeljijo na meroslovju in spremljanju kakovosti. V Sloveniji je vpeljana v obratovalni monitoring stanja kakovost voda in kakovosti zraka, na področju hrupa v okolju še pridobiva svojo veljavo. Sistematičen pregled raziskav je pokazal, da je proces ocenjevanja negotovosti na področju meritev, modeliranja, analize, ocenjevanja in poročanja o okoljskem hrupu neobhoden za doseg točnosti končnega rezultata in zanesljivosti meritev. Identifikacija vseh virov in prispevkov k negotovosti nam omogoča kvantificiranje celotne negotovosti, smer zniževanja negotovosti in sprejem učinkovitih ukrepov za sanacijo hrupa. Namen članka je s sistematičnim pregledom zakonskih zahtev, priporočil in raziskav preučiti vlogo merilne negotovosti pri ocenjevanju zanesljivosti meritev hrupa v grajenem okolju. V članku bodo predstavljene metode določanje negotovosti s proračunom negotovosti. S pomočjo študije primera bo ovrednoten pomen negotovosti za izboljšanje kakovosti poročil o monitoringu hrupa v okolju. Rezultati imajo veliko uporabno vrednost, saj poudarjajo nujnosti in smiselnost širše uporabe negotovosti v praksi in s tem dvigujejo ozaveščenost strokovnjakov in raziskovalcev.

Ključne besede: merilna negotovost, hrup v okolju, zanesljivost meritev, proračun negotovosti

Summary

Uncertainty as a measure of reliability has become established in all areas of metrology and quality monitoring. In Slovenia, it has been introduced in groundwater and air quality monitoring, but in the field of environmental noise it is still being enforced. A systematic literature review has shown that the estimation of uncertainty in measurements, modelling, analysis, estimation and reporting of environmental noise is necessary to achieve the accuracy of the final result and the reliability of measurements. Identifying all sources and contributors to uncertainty allows us to quantify the overall uncertainty, the direction of reduction and thus effective noise measures. This article aims to examine the role of measurement uncertainty in assessing the reliability of noise measurements in the built environment through a systematic review of regulatory requirements, recommendations and research findings. The article presents methods for identifying uncertainties with uncertainty budget. A case study examines the importance of uncertainty in improving the quality of environmental noise monitoring reports. The results are highly relevant as they emphasize the necessity and importance of the broader use of uncertainty in practice and thus raise the awareness of experts and researchers.

Key words: measurement uncertainty, environmental noise, reliability of measurements, uncertainty budget

1 UVOD

Tehnološki napredek na področju merilnega instrumentarija zmanjšuje merilne napake in negotovost, kar še posebej velja pri uporabi in kalibraciji merilnikov hrupa [Craven, 2007]. Pri ocenjevanju hrupa ne smemo zanemariti vpliva spremenljivih razmer v zunanjem okolju, kot so vremenske razmere in topografija, na katere imamo znatno manjši vpliv. To poveča merilno negotovost in vpliva na interpretacijo dobljenega rezultata. Z namenom zmanjšanja negotovosti je treba analizirati celotno verigo merjenja. Ta vključuje izvor vira hrupa, pot prenosa in sprejemnika, kjer je ključna definicija virov negotovosti in vpliva le-teh na kakovost meritev in s tem na končni rezultat.

Merilna negotovost je parameter, ki označuje raztros vrednosti veličine, ki so na podlagi uporabljenih podatkov pripisane merjencu [Hall, 2020]. V preteklosti sta se rezultata preizkusa in negotovosti obravnavala kot dve neodvisni veličini. Danes se je to pojmovanje spremenilo. Tako na primer že Mednarodni slovar meroslovja – Osnovni in splošni koncepti ter z njimi povezani izrazi (VIM) [SIST-V, 2012] obravnava merilni rezultat kot sestavljeno vrednost iz i) izmerjene veličine in ii) merilne negotovosti. Skladno s Pravilnikom o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje [UL RS, 2008] je negotovost ocenjevanja definirana kot "merilo, največkrat kvalitativno, ki izraža stopnjo dvoma ali pomanjkanja gotovosti glede ocene o pravi vrednosti parametra, katerega vrednost se ugotavlja z meritvami ali modelnim izračunom".

Historično gledano, segajo zapisi o merilni negotovosti že v 18. stoletje in so tesno povezani z razvojem statistike in teorije napak. Med prvimi raziskovalci na tem področju je bil Thomas Simpson, ki je odkril, da so pozitivne in negativne napake enako verjetne. Nadalje je preiskoval tudi različne porazdelitve napak in njihove omejitve. Prvi je opisal enakomerno in trikotniško porazdelitev. Malo kasneje je Pierre Simon Laplace vzpostavil eksponentno povezavo med pogostostjo napak in kvadratom njihove velikosti, ki jo je izpopolnil Carl Friedrich Gauss (1777–1855) in jo danes poznamo kot normalno porazdelitev verjetnosti.

Negotovost kot merilo zanesljivosti se je uveljavila na vseh področjih, ki temeljijo na meroslovju in spremljanju kakovosti. Negotovost se je zelo zgodaj in v znatni meri razvila tudi na področju geodetskih meritev, kjer se pogosto obravnava v sklopu izravnalnega računa (hr.: račun izjednačenja) [Čubranić, 1958]. Enako velja tudi za področje gradbeništva; na primer meritve zvočne izolirnosti v gradbeni akustiki, kjer so bili razviti tudi posebni standardi za potrebe uporabe merilne negotovosti ([SIST EN ISO 12999/1, 2020], [SIST EN ISO 12999/2, 2021]). Nujnost analize negotovosti in njeno navajanje je opredeljeno tudi v vodilu GUM 1995 (ang. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement) [JCGM, 2008], ki vključuje serijo dokumentov, s katerimi so določena splošna pravila za vrednotenje in izražanje negotovosti pri meritvah, ki jim je mogoče slediti na različnih ravneh natančnosti in na številnih področjih, vključujoč proizvodnjo in raziskave. V Evropi je GUM 1995 [JCGM, 2008] zahtevan dokument skladno z Direktivo Komisije (EU) 2015/996 o določitvi skupnih metod ocenjevanja hrupa [UL ES, 2015], metodami ocenjevanja hrupa v Evropi [CNOSSOS-EU, 2012] in standardi ([EN ISO, 3095, 2013], [ISO 9613-1, 1993], [SIST ISO 1996-1, 2016],

[SIST ISO 1996-2, 2017], [SIST EN ISO/IEC 17025, 2017]). GUM 1995 [JCGM, 2008] se je na področju meritve hrupa uveljavil že v številnih državah, kot so Nemčija, Avstrija, Italija. Dober zgled nam predstavlja tudi raziskava Nacionalnega akreditacijskega telesa v Združenem kraljestvu (ang. National Accreditation Body for the United Kingdom, UKAS) z naslovom Pravila odločanja in izjave o skladnosti [UKAS, 2020]. Ta ima v Združenem kraljestvu podobno vlogo kot v Nemčiji DAkkS (nem. Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, DAkkS) ali pri nas Slovenska akreditacija. Raziskava poudarja nujnost analize in navajanja negotovosti, ko se izmerjene vrednosti primerjajo z normativni oziroma referenčnimi vrednostmi. Merilna negotovost je v Sloveniji vpeljana na področje obratovalnega monitoringa stanja podzemne vode (Pravilnik o obratovalnem monitoringu stanja podzemne vode [UL RS, 2021]) in kakovosti zraka [Koleša, 2008]. Številni avtorji ([Hannah, 2003], [Liepert, 2017], [Probst, 2005], [Przysucha, 2015], [Randa, 2008]) poudarjajo nujnost ocenjevanja negotovosti za področje meritev, modeliranja, analize, ocenjevanja in poročanja okoljskega hrupa. Pojasnjujejo, da je nivo negotovosti pri okoljskem hrupu povezan s številnimi vplivnimi faktorji, ki so v medsebojni povezavi in vključujejo vremenske razmere, značilnosti instrumentarija in usposobljenost ter izkušnje izvajalca meritev. Hannahova s soavtorji [Hannah, 2003] je v priporočniku o negotovosti na področju okoljskega hrupa v Novi Zelandiji primerjala nacionalne standarde z mednarodnimi in podala metodologijo o navajanju negotovosti. Avtorji poudarjajo, da proces ocenjevanja negotovosti ni enosmeren, kljub kompleksnosti pa je dobrodošla že osnovna navedba negotovosti, kar se odraža v boljšem razumevanju in zaupanju v rezultat. Primerjava zakonskih zahtev in priporočil je pokazala, da področje negotovosti z leti pridobiva veljavo, za kar je usklajenost nacionalnih zahtev in priporočil z mednarodnimi standardi neobhodna [Hannah, 2003]. Liepert s soavtorji [Liepert, 2017] je izvedel raziskavo o pomenu negotovosti pri izračunanih ravneh hrupa (prometni, letalski) in vplivu na odnos med izpostavljenostjo in odzivom. Avtorji raziskave poudarjajo, da je negotovost na področju vrednotenja odnosa med izpostavljenostjo in odzivom pogosto spregledana. V okviru projekta NORAH so avtorji določili negotovost izračunanih ravni hrupa za različne vire (promet, letalski hrup), vključujoč pot prenosa in sprejemnika. Negotovost je znašala od 3 do 5 dB v odvisnosti od vira hrupa. Liepert [Liepert, 2017] zaključuje, da je negotovost eden izmed pomembnih faktorjev pri preučevanju odnosa med izpostavljenostjo in odzivom. Probst [Probst, 2005] je v svojem delu z naslovom »Negotovost v napovedih okoljskega hrupa in kartiranju hrupa« predstavljal metodo, kako oceniti negotovost izračunanih ravni hrupa, ki vključuje tako negotovost emisijskih vrednosti kot negotovost na poti širjenja. Avtor prikaže izračun negotovosti za primer karte hrupa za mesto Augsburg. Pri tem poudari, da je določitev negotovosti pri kartiranju izredno kompleksno področje in vključuje številne vplive [Probst, 2005]. Na področju kartiranja je Gomez s soavtorji [Gomez, 2020] izpostavil dilemo o postopku izvedbe validacije. Rezultati kažejo, da je treba vključiti negotovost meritev hrupa, saj omejuje validacijski prag (običajno se šteje za ± 3 dB). Skladno z [Gomez, 2020] je validacijski prag (ang. validation threshold) razlika med merjenimi in predpostavljenimi oziroma napovedanimi vrednostmi. Craven in Kerry [Craven, 2007] sta v okviru nacionalnega programa in sistema akustične metrologije izdelala obsežna navodila za določitev virov negotovosti pri meritvah okoljskega hrupa. Identifikacija vseh virov in prispevkov k negotovosti omogoča ne le kvantifi-

ciranje celotne negotovosti, ampak tudi pokaže poti znižanja negotovosti in s tem zvečanja točnosti končnega rezultata.

Pričujoči članek se osredotoča na pomen vpeljave merilne negotovosti na področje monitoringa okoljskega hrupa, vključujoč meritve zvočne zaščite stavb in akustike v Sloveniji. Pri tem je treba razlikovati med termini, kot so hrup v grajenem okolju, hrup v naravnem in življenjskem okolju in hrup v stavbah. Hrup v grajenem okolju je nadpomenka, ki pomeni hrup v zunanem in notranjem okolju; grajenem okolju, ki nastane s človeškim posegom (graditev), in je namenjeno vsakodnevnim aktivnostim (bivalno in delovno okolje) [Dovjak, 2019]. V preteklosti se je v Sloveniji uporabljala sopomenka hrup v komunalnem okolju (ang. community noise). Terminološka razlika med hrupom v grajenem okolju, hrupom v življenjskem in naravnem okolju ter hrupom v stavbah je v Sloveniji definirana s področnimi pravnimi akti. Skladno z Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju [UL RS, 2018] je hrup v okolju (življenjsko, naravno) opredeljen kot hrup, ki ga povzročajo stalne ali občasne emisije hrupa enega ali več virov obremenjevanja okolja s hrupom. Vir so lahko cesta, železniška proga z letnimi prevozi več kot 10 000 vlakov, letališče, heliport ali pristanišče, skladišče, odprto parkirišče, naprava industrijske, obrtne, proizvodne, storitvene in podobne dejavnosti, industrijski kompleks, gradbišče in obrat. Področje zaščite pred hrupom v stavbah je urejeno s Pravilnikom o zaščiti pred hrupom v stavbah in TSG, ki določata zahteve, s katerimi se v stavbah in njihovih delih omeji raven hrupa, s čimer preprečimo ogrožanje zdravja ljudi in ustvarimo ustrezne razmere za njihovo delo, druge dejavnosti in počitek. Poseben poudarek je na ukrepih zmanjšanja vplivov hrupa na varovane prostore stavb, v katerih se ljudje zadržujejo dlje časa (npr. spalnice, igralnice v vrtcih, bolniške sobe ipd.). Hrup v delovnem okolju je dodatno urejen v Pravilniku o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu [UL RS, 2006]. Na področju monitoringa so lahko preskuševalni laboratoriji akreditirani za določanje ravni hrupa z meritvami in modelnimi izračuni hrupa v okolju in/ali meritvami na področju zaščite pred hrupom v stavbah.

Za potrebe monitoringa okoljskega hrupa izvajajo pooblaščenici meritve in izračune. Njihove rezultate strnejo v poročilih, v katerih podajo primerjavo kazalcev hrupa z mejnimi vrednostmi. Ti zaključki predstavljajo za večino uporabnikov najpomembnejši in najzanimivejši del poročila, saj morajo biti v njih strnjene najpomembnejše ugotovitve, ali so merodajni kazalci hrupa v dovoljenih mejah ali ne. Pri sprejemu takšne odločitve je zato treba poznati in upoštevati tudi tveganje. Navajanje ugotovitev je lahko celo neverodostojno, če pooblaščenec ne utemelji zanesljivosti. Glavno merilo za takšno zanesljivost je negotovost, katere analiza in podajanje morata biti sestavni del vsakega poročila. Poročanje o merilni negotovosti uporabnikom omogoča oceniti, ali rezultati preizkusa ustrezajo svojemu namenu. Stranke potrebujejo merilno negotovost, da lahko sprejmejo kvalificirano odločitev, npr. o potrebi izvedbe protihrupne sanacije, o povečanju proizvodnje, nabavi novih strojev in naprav, oziroma izvedbi kakršnihkoli sprememb, ki vplivajo na hrup v okolju. Vloga negotovosti v procesu odločanja je neobhodna [Vilela, 2022].

Namen članka je s sistematičnim pregledom zakonskih zahtev, priporočil in raziskav preučiti vlogo merilne negotovosti pri ocenjevanju zanesljivosti meritev hrupa v grajenem okolju. V članku bodo predstavljeni: i) izsledki zakonskih zahtev,

priporočil in raziskav v kontekstu obstoječe prakse; ii) metode določanje negotovosti in proračun negotovosti; iii) tipi merilne negotovosti in elementi proračuna negotovosti; iv) kombinirana in razširjena negotovost ter primerjava s specifikacijo; v) odločitveno pravilo in primerjava z zakonsko sprejemljivimi vrednostmi. S pomočjo študije hipotetičnih primerov bomo ovrednotili pomen negotovosti kot faktor izboljšanja kakovosti poročil o monitoringu hrupa v okolju. Rezultati imajo veliko uporabno vrednost k ozaveščanju strokovnjakov in raziskovalcev kot nujnosti in smiselnosti širše uporabe negotovosti v praksi.

2 METODA

Sistematični pregled literature smo opravili v iskalnih bazah podatkov, kot sta Science Direct in Scopus. Iskalni niz besed je bil izdelan v slovenščini in angleščini: »merilna negotovost IN meritve hrupa«, »uncertainty AND noise measurements«. V pregled smo vzeli relevantno literaturo, objavljeno do konca aprila 2022. Relevantne vire literature smo iskali tudi na spletnih naslovih EUR-Lex, Pravno informacijski sistem Republike Slovenije, Ministrstvo za okolje in prostor RS. S pomočjo študije primera bomo ovrednotili pomen negotovosti kot faktor izboljšanja kakovosti poročil o monitoringu hrupa v okolju.

3 REZULTATI

3.1 Izsledki zakonskih zahtev in priporočil na področju negotovosti v kontekstu obstoječe prakse

Merilna negotovost skladno s 13. členom Pravilnika o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje [UL RS, 2008] ni del poročila o ocenjevanju hrupa. Vendar pa je pri tem treba upoštevati tudi druge člene tega istega Pravilnika (na primer 7. in 10. člen), ki zahtevajo, da se meritve in ocenjevanje hrupa izvedejo skladno s standardom [SIST ISO 1996-2, 2017] v povezavi s standardom [SIST ISO 1996-1, 2016]. Gre torej za standarda z obvezno uporabo, ki zahtevata, da mora poročilo vsebovati tudi oceno razširjene merilne negotovosti skupaj z izbranim verjetnostnim pokritjem.

Kot je bilo poudarjeno v uvodu, je glavna pozornost pri izvedbi meritev okoljskega hrupa in negotovosti usmerjena zgolj v kalibracijo instrumentarija, drugi izvori negotovosti so pogosto ostali prikriti oziroma so se zanemarili. Z razvojem tehnike so se manjšale napake uporabljenega instrumentarija. Sodobnejši instrumentarij je pričel omogočati nove merilne metode, ki so obremenjene z manjšimi napakami kot tiste, uporabljane v preteklosti. Ne glede na to pa so meritve hrupa še vedno podvržene večjemu številu pomembnih napak, ki so povezane predvsem s spreminjajočimi se vplivi: i) obratovalnih režimov preiskovanih hrupnih virov; ii) meteoroloških razmer, iii) hrupa ozadja, iv) merilne lokacije oziroma njene okolice in podobno. Gre torej za parametre, ki niso pod nadzorom operaterja, ki izvaja meritve, oziroma ni možno njihovega vpliva zmanjšati zgolj z modernejšo merilno tehniko. Zato bi moral operater, ki meritve izvaja, te vplive poznati, jih oceniti in upoštevati, kar zahteva tudi nova verzija standarda [SIST ISO 1996-2, 2017]. Cilj

nove verzije standarda [SIST ISO 1996-2, 2017] je izboljšanje natančnosti rezultatov meritev okoljskega hrupa in zanesljivejša ocena podajanja njihove negotovosti ob upoštevanju vseh pomembnejših vplivnih faktorjev.

Pri tem se moramo v prvi vrst zavedati, da pri monitoringu hrupa izmerjenih parametrov večinoma ne moremo neposredno primerjati z normativi (kar je zanimivo za uporabnike poročil), temveč jih moramo predhodno ustrezno transformirati in upoštevati še dodatne popravke, da dobimo ocenjene ravni oziroma merodajne kazalce hrupa. Ne nazadnje so takšni postopki uveljavljeni tudi v številnih drugih strokah, ne samo pri monitoringu hrupa. Pri tem velja opozoriti tudi na to, da nekateri strokovnjaki izpostavljajo kot ključni problem opredelitev merjene veličine/lastnosti, ki naj bi bila akreditirana. Slednje lahko rezultira v vprašanju, ali je trenutni postopek akreditacije zadosten, saj zagotavlja zgolj kakovost nad pravilnim vzorčenjem, medtem ko večine uporabnikov poročil temu ne posvečajo dovolj pozornosti. Končne uporabnike (zavezance, izpostavljene stanovalce, inšpekcijske službe in druge) zanimajo predvsem merodajni kazalci (*L_{dan}*, *L_{več}*, *L_{noč}*, *L_{dvn}*, *L₁*) in njihova zanesljivost, primerjava z mejnimi vrednostmi ter zaključki, čemur pa akreditacija, vezana na monitoring hrupa, trenutno ne pokriva v zadostni meri. Dejanska kakovost poročil se lahko odraža predvsem v luči podajanja teh najpomembnejših kazalcev in njihove zanesljivosti in ne zgolj na enem izmed vhodnih podatkov za njihovo določitev.

Akreditirani laboratorij mora obvladovati vse dejavnike, ki vplivajo na rezultat preizkušnja, in ovrednotiti negotovost rezultata. Kazalec hrupa je torej lahko obravnavan kot rezultat preizkušnja, če laboratorij lahko ovrednoti prispevke vseh vhodnih podatkov in predpostavk k negotovosti njegove določitve. Zato morajo pooblaščenec vložiti veliko truda, da vse te prispevke in njihovo negotovost pravilno in sledljivo vrednotijo skladno s standardom [SIST ISO 1996-2, 2017]. Iz tega sledi, da bodo morali tudi pooblaščenec spremljati in analizirati vse vhodne podatke, potrebne za določitev merodajnih kazalcev hrupa, vključno z njihovo negotovostjo. Vhodne podatke predstavlja jo vsi prispevki, ki vplivajo na merodajne kazalce hrupa in jih mora pooblaščenec upoštevati pri njihovi določitvi.

Sistematično lahko pomembnejše vplive razdelimo v tri skupine:

- emisijske (število izvorov, režim obratovanja, vpliv posluževalca, meteorološke razmere v smislu vpliva na obratovanje strojev in naprav),
- transmijske (vremenske razmere v smislu vpliva na širjenje hrupa, vpliv tal, topografije),
- imisijske (hrup ozadja, vpliv odbojev od fasad in drugih reflektirajočih površin, vpliv izvajalca meritev, vpliv merilnega instrumentarija, itd.). Pri tem ni nujno, da pooblaščenec pri ocenjevanju upošteva prav vse vplivne faktorje, še zlasti ne manj pomembne. Vendar pa mora biti v poročilu jasno sledljivo, katere vplivne faktorje je upošteval kot vhodne podatke in kakšni so njihovi prispevki h kazalcem hrupa in njihovi negotovosti. Menimo, da bi v tem primeru akreditacija imela pomembnejši del nadzora nad pravilnostjo in kakovostjo poročil o obratovalnem monitoringu hrupa.

Več predpisov obvezuje pooblaščenca k analizam vhodnih podatkov in podajanju njihove negotovosti. Znano je, da

potrebuje vsak pooblaščenec za pridobitev pooblastila za izvajanje prvih meritev in obratovalnega monitoringa hrupa akreditacijo. Splošne zahteve, ki jih morajo izpolnjevati akreditirani preizkusni in kalibracijski laboratoriji, so opisane v [SIST EN ISO/IEC 17025, 2017]. Ta mednarodni standard je podlaga za mednarodno akreditacijo laboratorija. Dodatno so pomembne še smernice za namene akreditacije, na primer Mednarodnega združenja za akreditacijo laboratorijev (ang. International Laboratory Accreditation Cooperation, ILAC). ILAC [ILAC, 2022] je globalno združenje za akreditacijo laboratorijev, kontrolnih organov, izvajalcev preizkusov strokovne usposobljenosti in proizvajalcev referenčnih materialov, katerega članstvo sestavljajo akreditacijski organi in organizacije deležnikov po vsem svetu. Je predstavniška organizacija, ki se vključuje v: i) razvoj akreditacijskih praks in postopkov, ii) promocijo akreditacije kot orodja za spodbujanje trgovine, iii) podporo zagotavljanju lokalnih in nacionalnih storitev, iv) pomoč pri razvoju akreditacijskih sistemov, v) priznavanje kompetentnih preizkuševalnih (tudi medicinskih) in kalibracijskih laboratorijev, kontrolnih organov, izvajalcev preizkusov strokovne usposobljenosti in proizvajalcev referenčnih materialov po vsem svetu.

Z upravljanjem mednarodnega dogovora o medsebojnem priznavanju med akreditacijskimi organi (AO) – Dogovora ILAC – ILAC pospešuje trgovino in nudi podporo regulatorjem. S tem dogovorom so podatki in rezultati preizkusov, ki jih izdajo laboratoriji in kontrolni organi s skupnim imenom organi za ugotavljanje skladnosti (OUS), akreditirani pri akreditacijskih organih, članih ILAC, globalno sprejeti. S tem so zmanjšane tehnične ovire pri trgovanju, npr. ponovno preizkušanje izdelkov z vsakim njihovim vstopom v novo gospodarstvo, v podporo uresničevanju cilja proste trgovine: "enkrat akreditirano, sprejeto povsod". Poleg tega akreditacija z zagotavljanjem, da so akreditirani OUS kompetentni za izvajanje dela, ki ga v svojem obsegu akreditacije opravljajo, zmanjša tveganje podjetij in njihovih strank. Nadaljnje rezultate akreditiranih organov v javno korist na široko uporabljajo regulatorji pri zagotavljanju storitev, ki promovirajo neonesnaženo okolje. Od akreditacijskih organov, ki so člani združenja ILAC, in od OUS, ki jih ti akreditirajo, se zahteva, da delujejo v skladu z ustreznimi mednarodnimi standardi in z veljavnimi navodili ILAC za dosledno izvajanje teh standardov. Akreditacijski organi, podpisniki Dogovora ILAC, so pred podpisom dogovora podvrženi zunanji evalvaciji (ang. peer evaluation), ki jo opravijo uradno ustanovljeni in priznani organi regionalnega sodelovanja z uporabo pravil in postopkov ILAC [ILAC, 2022].

V letu 2017 je Odbor za akreditacijo sprejel dokument OA15 – Smernice za poročanje na področju hrupa v okolju [SA, 2017]. Še pomembnejše v tej smeri pa so še novejša smernice OA10 – Smernice za poročanje na področju hrupa v okolju [SA, 2021], ki so namenjene pomoči akreditiranim pooblaščenem pri obdelavi negotovosti. V skladu z zahtevami za poročanje in sklicevanje na akreditacijo je treba zagotoviti nedvoumno in transparentno ločevanje akreditiranih in neakreditiranih dejavnosti. Prepoznano je bilo, da za to laboratoriji uporabljajo različne rešitve ter se vsebine in njihova struktura lahko razlikujejo do mere, ki otežuje preglednost za uporabnike. Zato je delovna skupina pri Odboru za akreditacijo, v katero so bili vključeni predstavniki akreditiranih organov, njihovih uporabnikov (med temi so bili tudi predstavniki za področje

pristojnih državnih organov) ter ocenjevalcev SA, pripravila Smernice za poročanje na področju hrupa v okolju OA15 [SA, 2017], da bi pripomogla k enotnejšemu razumevanju zahtev in njihovih interpretacij ter k večji enotnosti in preglednosti poročil. V preteklem letu pa je Slovenska akreditacija izdala tudi smernice za merilno negotovost pri preskušanju OA10 [SA, 2021]. Namen tega dokumenta je zagotoviti smernice in ustrezno literaturo za vrednotenje merilne negotovosti ter poročanje o njej v poročilih o preskusu. Naši predpisi (3. člen Pravilnika [UL RS, 2008]) opisujejo negotovost ocenjevanja kot "merilo, največkrat kvalitativno, ki izraža stopnjo dvoma ali pomanjkanja gotovosti glede ocene o pravi vrednosti parametra, katerega vrednost se ugotavlja z meritvami ali modelnim izračunom". Znano je, da morajo pooblaščenici že za pridobitev pooblastila ministrstva za izvajanje obratovalnega monitoringa imeti dokumentacijo o metodi za ugotavljanje merilne negotovosti ocenjevanja hrupa z meritvami hrupa oziroma dokumentacijo o metodi za ugotavljanje negotovosti ocenjevanja hrupa z modelnim izračunom na podlagi računskih metod. Ta zahteva je v veljavi že od sprejetja Pravilnika [UL RS, 2008], torej že več kot 13 let. Ugotavljanje in navajanje merilne negotovosti pa je postalo nujna praksa s sprejemom več obvezujočih standardov, sprejetih v letu 2017, in sicer [SIST EN ISO/IEC 17025, 2017] ter [SIST ISO 1996-2, 2017], deloma pa tudi ter [SIST ISO 1996-1, 2016], ki je stopil v veljavo leto pred tem. Standarda [SIST EN ISO/IEC 17025, 2017] in [SIST ISO 1996/2, 2017] za podrobnosti v zvezi z negotovostjo se sklicujeta na:

- ISO/IEC Vodilo 98-3, Merilna negotovost – 3. del: Vodilo za izražanje merilne negotovosti (GUM:1995) [ISO/IEC Vodilo 98-3, 2008]
- ISO/IEC Vodilo 98-4, Merilna negotovost – 4. del: Vloga merilne negotovosti pri ugotavljanju skladnosti [ISO/IEC Vodilo 98-4, 2012]

V praksi se sicer lahko zgodi, da naročnik od laboratorija svojevoljno zahteva, naj sprejme odločitev o skladnosti in hkrati »ignorira negotovost«. Po drugi strani to ni sprejemljivo, saj [SIST EN ISO/IEC 17025, 2017] tega ne dovoljuje, temveč zahteva, da je treba pri sprejemanju odločitev o skladnosti upoštevati negotovost. Morebitna takšna zahteva naročnika tudi v strokovnem smislu ni ustrezna. Statistično gledano, v primeru takšnega ignoriranja ni možno ugotoviti niti pravilne porazdelitvene funkcije niti drugih statističnih parametrov za merjeno vrednost, če bi se držali morebitne zahteve, naj se ne upoštevajo merilne negotovosti. Takšna odločitev bi tako bila v najblažjem primeru tehnično neveljavna zaradi nedoločljivega tveganja in nezmožnosti meroslovne sledljivosti. Upoštevanje merilne negotovosti in njene določitve pa po drugi strani omogoča sledljivost (vključno s poznavanjem ustrezne porazdelitvene funkcije in pomembnejših statističnih momentov), iz rezultatov odločanja pa je na tej osnovi možna tudi opredelitev tveganja.

V naslednjih šestih točkah so našteje osnovne zahteve standarda [SIST EN ISO/IEC 17025, 2017] v zvezi z merilno negotovostjo:

1. Laboratoriji morajo določiti prispevke k merilni negotovosti. Pri ovrednotenju merilne negotovosti je treba z ustreznimi analiznimi metodami upoštevati vse pomembnejše prispevke, vključno s tistimi, ki izhajajo iz vzorčenja.

2. Laboratorij, ki izvaja preizkušanje, mora ovrednotiti merilno negotovost. Kadar preizkusna metoda onemogoča natančno ovrednotenje merilne negotovosti, je treba oceno merilne negotovosti izdelati na podlagi razumevanja teoretičnih načel ali praktičnih izkušenj z izvajanjem metode.

3. Poročila o preizkusu morajo, kadar je to potrebno za razlago rezultatov preizkusa, vsebovati merilno negotovost, podano v isti merski enoti, kot je podana merjena veličina glede na merjenec (npr. v decibelih, odstotkih), in sicer:

- kadar je to pomembno za veljavnost ali uporabo rezultatov preizkusa,
- kadar to zahtevajo navodila naročnika ali (kot že opisano, naročnik ne more tega razumeti napačno in zahtevati ignoriranja merilne negotovosti), v kolikor želi hkrati dobiti primerjave preizkusov z normativi,
- kadar merilna negotovost vpliva na skladnost obratovanja naprave glede na predpisano mejno vrednostjo.

V našem primeru je zadnja zahteva praktično pravilo, saj je končni cilj poročila zaključek, ali so kazalci hrupa v dovoljenih mejah ali ne.

4. Kadar je podana izjava o skladnosti s specifikacijo ali standardom, mora laboratorij dokumentirati uporabljeno pravilo odločanja ob upoštevanju ravni tveganja (kot so npr. napačne odobritve in napačne zavrnitve ter statistične domneve), povezanega z uporabljenim pravilom odločanja, in uporabiti to pravilo odločanja.

5. Merilna oprema mora biti kalibrirana:

- če merilna točnost oziroma merilna negotovost vpliva na veljavnost rezultatov v poročilu in/ali
- če se kalibracija opreme zahteva zaradi zagotavljanja meroslovne sledljivosti rezultatov v poročilu.

6. Meroslovna sledljivost se vzpostavi ob upoštevanju in nato z zagotavljanjem, da je za vsak korak v verigi sledljivosti ovrednotena merilna negotovost v skladu z dogovorjenimi metodami ter da se vsak korak verige izvede v skladu z ustreznimi metodami, z merilnimi rezultati in s pripadajočimi, zapisanimi merilnimi negotovostmi.

Iz navedenega sledi, da bi se morali pooblaščenici v primeru ignoriranja obdelave in navajanja negotovosti v poročilih odpovedati akreditaciji, ki zahteva, da se delovni postopki izvajajo po standardu [SIST EN ISO/IEC 17025, 2017]. Hkrati bi morali prenehati podajati zaključke, ali je hrup v okolju v dovoljenih mejah ali ne. Dovoljeno bi bilo zgolj navajanje neposredno vzorčevalnih podatkov o neposredno izmerjenih ravneh hrupa, kar pa najverjetneje ne bi bilo več zanimivo niti za naročnike niti za prizadete stanovalce niti za inšpekcijske in druge organe.

Seveda pa bi morebitno ignoriranje negotovosti oziroma iskanje raznih zakonskih lukenj potegnilo za seboj tudi vprašanje potrebe po doslednosti na drugih področjih, ki so neposredno vezana na negotovost. Na primer, ali je potem še sploh treba izpolnjevati zahteve po instrumentariju, potrebe po njihovi kalibraciji, izvajanju meritev vetra ter drugih meteoroloških in pomožnih parametrov.

3.2 Določanje negotovosti in proračun negotovosti

Za določitev negotovosti obstaja več metod. Skladno s standardom [SIST ISO 1996-2, 2017] dajemo prednost modelni metodi – zasnovani na GUM 1995 [JCGM, 2008]. Pri modelni metodi identificiramo in kvantificiramo vse pomembnejše izvore negotovosti, opravimo ustrezne analize, na njihovi osnovi pa napravimo proračun negotovosti. Pri tem moramo upoštevati nekatere pomembne momente vhodnih količin. Za vsako izmed vhodnih veličin je namreč značilna:

- določena verjetnostna porazdelitev (normalna, pravokotniška, trikotna, Studentova itd.),
- določena srednja vrednost, ki predstavlja najboljšo oceno za vrednost vhodne količine,
- standardni odklon – merilo za razpršenost teh vrednosti.

3.3 Zakon o prenosu napak

V nadaljevanju navajamo specifičen primer meritve ravni hrupa, kjer je preiskovana raven hrupa L oziroma kazalec odvisen od večjega števila drugih količin x_j ($j=1...n$), lahko zapišemo njihovo funkcijsko povezavo kot

$$L = f(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n). \quad (1)$$

Vsaka izmed teh veličin je obremenjena z določeno napako, ki jo statistično prikažemo v obliki standardne negotovosti u_j . Če so vse te količine medsebojno neodvisne, dobimo izraz za njihovo kombinirano standardno negotovost v obliki, ki se v praksi pogosto uporablja

$$u(L) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_j u_j)^2}, \quad (2)$$

kjer je c_j občutljivostni koeficient:

$$c_j = \frac{\partial f}{\partial x_j}. \quad (3)$$

Prispevki h kombinirani standardni negotovosti u , so torej odvisni od standardne negotovosti vsake vhodne količine in pripadajočega koeficienta občutljivosti c_j . Za vsako izmed vhodnih količin je značilna določena verjetnostna porazdelitev (normalna, pravokotniška, trikotna, Studentova itd.) ter določena srednja vrednost, ki predstavlja najboljšo oceno za vrednost vhodne količine, medtem ko je standardni odklon merilo za razpršenost teh vrednosti. Koeficienti občutljivosti so mera za vpliv sprememb vrednosti posameznih vhodnih količin za raven hrupa ali drugo preiskovano akustično količino. Matematično so to parcialni odvodi funkcije za izračunavanje vpliva določenih vhodnih količin na raven izpostavljenosti hrupu ali na druge akustične količine. Prispevki posameznih vhodnih količin so produkti standardnih negotovosti in pripadajočih koeficientov občutljivosti. Kombinirana standardna negotovost u se tako dobi po drugi enačbi iz posameznih prispevkov negotovosti, $c_j u_j$.

Sprejeta oblika izražanja merilne negotovosti, ki je na splošno povezana z vsemi standardiziranimi merilnimi metodami, je podrobneje opisana v dokumentu GUM 1995 [JCGM, 2008]. Ta oblika vsebuje tudi negotovost izračunov, v katerem so zajeti in kvantificirani vsi pomembni viri merilne negotovosti, iz katerih je mogoče dobiti kombinirano merilno negotovost.

3.4 Tipi merilne negotovosti in elementi proračuna negotovosti

Merilno negotovost sestavljata dva tipa: tip A, ki je vrednoten s statističnimi metodami na seriji ponovitvenih meritev, in tip B, vrednoten z nestatističnimi metodami. Pri implementaciji merilne negotovosti v delovne postopke pooblaščenec ter njeni uporabi obstaja določen prioriteten red, ki bi ga morali spoštovati. Na vrhu tega prioritetnega reda je določanje negotovosti po modelni metodi, pri kateri moramo identificirati in količinsko opredeliti vse pomembnejše vplivne faktorje oziroma izvore negotovosti. Poleg teh vplivnih faktorjev moramo oceniti njihovo velikost ter občutljivostne koeficiente. Z drugimi besedami, napraviti moramo proračun negotovosti, ki je osnova za nadaljnje odločitve. Splošna shema poteka postopka za določitev proračuna negotovosti je naslednja:

- vzpostaviti moramo model oziroma funkcijske povezave med izmerjenimi in iskanimi količinami,
- ugotoviti vseh pomembnejše vire negotovosti,
- izračunati standardne negotovosti za vsako komponento: za izmerjene po tipu A (u_A) (meritve ponovimo na primer 3- do 5-krat) in po tipu B (u_B) za druge komponente,
- določiti koeficiente občutljivosti,
- izračunati kombinirane negotovosti,
- izračunati razširjene negotovosti ob upoštevanju faktorja pokritja.

Negotovost ocene posamezne vhodne (vplivne) količine imenujemo standardna negotovost σ_j .

Koeficienti občutljivosti c_j opisujejo, kako na vrednosti ravni preiskovane akustične količine vplivajo spremembe vrednosti posameznih vhodnih količin.

Prispevki posameznih vhodnih količin po GUM na kombinirano negotovost se podajo z vsoto kvadratov produktov standardnih negotovosti in njim pripadajočim koeficientov občutljivosti:

$$u(L) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_j \sigma_j)^2}. \quad (4)$$

Kombinirana negotovost – splošno

$$u(L) = \sqrt{u_{A1}^2 + u_{A2}^2 + \dots + u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + \dots}. \quad (5)$$

Razširjena negotovost $U=ku(L)$ Za norm. porazdelitev in 95 % zaupanje, $k=2$

$$U(L)_{normal,95\%} = 2u(L_r). \quad (6)$$

Razširjena negotovost nam glede na kombinirano tako ne ponuja nobene nove informacije, izkaže pa se za priročno merilo pri primerjavi merodajnih kazalcev z normativnimi vrednostmi.

Proračun negotovosti bi torej moral postati sestavni del vsakega izdanega poročila. Zagotoviti mora sledljivost do informacij, katere vire napak oziroma negotovosti je posamezni pooblaščenec sploh upošteval ter v kolikšni meri. Osnovni primer proračuna negotovosti je tudi sestavni del SIST ISO 1996-2 [SIST ISO 1996-2, 2017] standarda in je prikazan spodaj (preglednica 1). Pri tem se pričakuje, da ga bo vsak pooblaščenec dopolnil glede na lastne potrebe in naloge, ki jih izvaja.

Količina	Ocena	Standardna negotovost	Občutljivostni koeficient
$L' + \delta_{slm}$	L'	$u(L') (0,5 \text{ dB})$	$\frac{1}{1 - 10^{-0,1(L' - L_{res})}}$
δ_{vir}	0	u_{vir}	1
δ_{met}	0	u_{met}	1
δ_{lok}	0,0 – 6,0	u_{lok}	1
$L_{res} + \delta_{res}$	L_{res}	u_{res}	$\frac{10^{-0,1(L' - L_{res})}}{1 - 10^{-0,1(L' - L_{res})}}$

Preglednica 1. Osnovni primer proračuna negotovosti (prilagojeno po [SIST ISO 1996-2, 2017]).

L' - celotna izmerjena raven hrupa, ki vključuje tudi hrup ozadja, izražena v dB; δ_{slm} - vhodna količina, vezana na negotovost zaradi odstopanja v merilni verigi (merilnik hrupa in druga merilna oprema), izražena v dB; δ_{vir} - vhodna količina, vezana na negotovost zaradi odstopanja od pričakovanih obratovalnih razmer hrupnega vira, izražena v dB; δ_{met} - vhodna količina, vezana na negotovost zaradi odstopanja od predpostavljenih meteoroloških razmer, izražena v dB; δ_{lok} - vhodna količina, vezana na negotovost zaradi izbire merilne lokacije, izražena v dB; L_{res} - hrup ozadja, izražen v dB; δ_{res} - vhodna količina, vezana na negotovost zaradi hrupa ozadja, izražena v dB; $u(L') (0,5 \text{ dB})$ - standardna negotovost celotne izmerjene ravni hrupa; u_{vir} - standardna negotovost zaradi vpliva obratovanja vira hrupa; u_{met} - standardna negotovost zaradi vpliva meteoroloških razmer; u_{lok} - standardna negotovost zaradi vpliva merilne lokacije; u_{res} - standardna negotovost zaradi vpliva hrupa ozadja.

3.5 Kombinirana in razširjena negotovost in primerjava s specifikacijo

Kot že omenjeno, poznamo dva tipa merilne negotovosti: tip A in tip B. Skupno oziroma kombinirano negotovost dane meritve dobimo s kombinacijo kvadratov posameznih negotovosti obeh tipov

$$U_{SKH} = \sqrt{U_A^2 + U_{B1}^2 + U_{B2}^2 + \dots} \quad (7)$$

Razširjeno merilno negotovost meritev ravni hrupa in drugih akustičnih količin v praksi največkrat povezujemo s tako imenovano verjetnostjo pokritja 95 %. Kot je opredeljeno v publikaciji GUM, naj bi se v primeru normalne porazdelitve za sprejemljivega štel dvakratni kombinirani standardni odklon od določene vrednosti, razen če so na voljo posebne izkušnje in znanja. Razširjena merilna negotovost je namreč odvisna od stopnje zaupanja, ki jo želimo doseči. Razširjena negotovost U je podana s produktom $U = ku$, kjer je k faktor pokritosti, ki je odvisen od intervala zaupanja. Za normalno porazdelitev izmerjenih ali modeliranih vrednosti lahko s 95-% zaupanjem trdimo, da leži dejanska vrednost v intervalu $(L-U)$ do $(L+U)$; pri tem je lahko L raven hrupa ali druga preiskovana akustična količina. To ustreza faktorju pokritja $k = 1.96$, kar zaokrožimo na vrednost 2 (faktor pokritja $k = 2$).

Če pa je namen določanja vrednosti določene akustične količine (na primer raven hrupa) primerjava rezultatov z mejno

vrednostjo (ki naj ne bi bila presežena, lahko pa je nižja od nje), se izkaže bolj primerna uporaba enostranskega faktorja pokritja oziroma za enostransko normalno porazdelitev. V tem primeru je pri normalni porazdelitvi za faktor pokritja vrednost $k = 1.6$, kar ustreza 95-% stopnji zaupanja. To pomeni, da je 95-% vrednosti manjših od zgornjo mejo $L+U$ in s tem sprejemljivo za nasprotno stranko.

Razširjena negotovost enoštevilske vrednosti L_r (ocenjena raven oz. kazalec hrupa) s faktorjem pokritja $k = 2$ in 95-% intervalom pokritja se tako določi kot produkt:

$$U(L_r) = ku(L_r). \quad (8)$$

3.5.1 Odločitveno pravilo

Pri pisanju poročil o obratovalnem monitoringu hrupa je običajno treba sprejeti določene odločitve, pri tem pa upoštevati odločitveno pravilo (ang. decision rule). Odločitveno pravilo opisuje, kako bo merilna negotovost upoštevana pri primerjavi izmerjenih oziroma izračunanih kazalcev hrupa ter normativnih vrednosti. Gre torej za odločitve, ali so kazalci hrupa v dovoljenih mejah ali pa jo presegajo in s kakšno zanesljivostjo lahko kaj takšnega sploh zatrjujemo. Kot že omenjeno, pri tem običajno vzamemo kot adekvatno merilo razširjeno merilno negotovost U in stopnjo zaupanja približno 95 % (faktor kritja $k = 2$). Le v izjemnih primerih se izbere višja stopnja zaupanja, npr. 99 % (faktor pokritosti $k = 3$).

3.6 Primeri vrednotenja ob upoštevanju merilne negotovosti

Eden najpomembnejših ciljev monitoringa hrupa je primerjava ocenjenih ravni hrupa z normativi. V prvi vrsti je namreč treba preveriti odstopanje (na primer ocenjene ravni za posamezno obdobje L_r), določeno z navedeno metodo, od zakonsko sprejemljive vrednosti $L_r \text{ lim}$. Za obojestranski interval velja z upoštevanjem negotovosti $U(L_r)$:

$L_r + U(L_r) \leq L_r \text{ lim}$, maksimalna dovoljena vrednost ni presežena;
 $L_r - U(L_r) > L_r \text{ lim}$, je maksimalna dovoljena vrednost presežena;
 $L_r - U(L_r) \leq L_r \text{ lim} \leq L_r + U(L_r)$, zanesljiv zaključek ni možen in je meritve treba ponavljati še naprej.

$L_r \text{ lim}$ se nanaša na mejno oziroma normativno raven hrupa, predpisano za dane emisije hrupa, okolje in obdobje.

1. primer odločitve – skladnost

$L_r + U(L_r) \leq L_r \text{ lim}$, maksimalna dovoljena vrednost ni presežena.

Če rezultat meritve, povečan za razširjeno negotovost s 95-odstotno verjetnostjo pokritja ne presega meje normativov, lahko to obravnavamo kot skladnost s specifikacijo. Rezultat meritve je v tem primeru znotraj (ali pod) mejo specifikacije, če se upošteva merilna negotovost.

2. primer odločitve – neskladnost

$L_r - U(L_r) > L_r \text{ lim}$, je maksimalna dovoljena vrednost presežena. V tem primeru gre za neskladnost, torej če rezultat meritve, zmanjšan za razširjeno negotovost, preseže mejo specifikacije, se lahko s 95-odstotno verjetnostjo pokritja navede neskladnost s specifikacijo.

3. primer – ni možno podati odločitve

$L_r - U(L_r) \leq L_r \leq L_r + U(L_r)$, zanesljiv zaključek ni možen in je meritve treba ponavljati še naprej. Če rezultat meritve plus/minus razširjena negotovost leži znotraj tega intervala, ni možno navesti skladnosti ali neskladnosti. Rezultat meritve in razširjeno negotovost s 95-odstotno verjetnostjo pokritja je treba v tem primeru obravnavati skupaj z izjavo, da ni možno zatrjevati niti skladnosti niti neskladnosti. O skladnosti z normativi torej ne moremo poročati, če je tveganje napačnega rezultata večje kot 5 %.

To pomeni, da končna odločitev, ali je hrup v danem okolju in obdobju v dovoljenih mejah večkrat, ne more biti enolično določena. To še zlasti velja v primerih, ko so ocenjene ravni hrupa zelo blizu mejnim. Takrat je meritve načeloma treba ponavljati toliko časa, da s sprejemljivo zanesljivostjo lahko podamo pozitiven ali negativen odgovor, v nasprotnem primeru lahko to zatrjujemo le z določeno verjetnostjo. Na ta dejstva je treba opozoriti tudi inšpektorje oziroma druge pristojne organe.

3.7 Negotovost kot faktor izboljšanja kakovosti poročil o monitoringu hrupa v okolju

Kot je bilo predstavljeno v predhodnih poglavjih, je negotovost ključen faktor izboljšanja kakovosti monitoringu hrupa v okolju, prav tako pa ima dodano vrednost na vseh področjih meroslovja in kakovosti. Pri ocenjevanju negotovosti je pomembno, da izvajalec upošteva celotno verigo merjenja in sledi točnemu redosledu aktivnosti, ki so predstavljene v spodnji sliki 1.

1. Definiraj vse vire negotovosti: vir, pot širjenja, sprejemnik.
2. Določi prispevek posameznega vira k negotovosti: izračunaj iz ponavljajočih meritev; ocena na osnovi izkušenj ali rabo grafičnih prikazov iz literature.
3. Pretvori negotovost v dB.
4. Izračunaj standardno negotovost za vsak vir posebej: $u_1, u_2, u_3, \dots$ Standardna negotovost za normalni distribucijo je: $u = \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (9)$ kjer je s ocenjena standardna deviacija za n vzorcev. Standardna negotovost za vsako pravokotno porazdelitev je: $u = \frac{x}{\sqrt{3}}. \quad (10)$ za x negotovost.
5. Izračunaj kombinirano negotovost u_c . splošno $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + \dots}. \quad (11)$

Slika 1. Shematski prikaz korakov izračuna kombinirane negotovosti (prilagojeno po [Hannah, 2003]).

Kot številčni primer podajamo izračun negotovosti za primer meritev cestnoprometnega hrupa. Merilnik ravni zvočnega tlaka prvega razreda ima standardno negotovost okrog ± 0.5 dB. Negotovost emisije hrupa posameznih vozil lahko ocenimo s štetjem vozil po enačbi $u_{vir} = C/\sqrt{n}$. Na primer pri $n=100$ vozilih z mešanim prometom $C=10$, ocenimo u_{vir} na ± 1 dB. Negotovost smo ocenili v pogojih ugodnih meteoroloških razmer za razširjanje hrupa in znaša $u_{met} = \pm 2$ dB. Negotovost zaradi vpliva odbojev v bližini reflektirajočih površin na mikrofona s popravkom 3 dB ocenimo na ± 1 dB. Raven hrupa ozadja (52 dB) je bila za 8 dB nižja od celotne merjene ravni, merilna negotovost hrupa ozadja je znašala ± 2 dB, njen vpliv je torej znašal ± 0.38 dB, vpliv na celokupno raven pa 0,59 dB. Iz teh vhodnih podatkov izračunamo kombinirano negotovost na 2,54 dB oziroma razširjeno negotovost s 95-% pokritjem na 4,98 dB. Podrobnosti so v preglednici 2.

Količina	Ocena	Standardna negotovost u_j (dB)	Občutljivostni koeficient c_j	Prispevek k negotovosti $c_j u_j$ (dB)
L'	60 dB	0.5	$\frac{1}{1 - 10^{-0,1(L' - L_{res})}}$	0,59
δ_{vir}	100 vozil	$\frac{10}{\sqrt{100}} = 1$	1	1
δ_{met}	Ugodni pogoji	2	1	2
δ_{lok}	3 dB	1	1	1
δ_{res}	$L_{res} = 52$ dB	2	$\frac{10^{-0,1(L' - L_{res})}}{1 - 10^{-0,1(L' - L_{res})}}$	0,38
$u(L) = \sqrt{\sum_{j=1}^n (c_j u_j)^2}$				2,54
Razširjena negotovost s 95-% verjetn. pokritjem				4,98

Preglednica 2. Proračun negotovosti za primer meritev cestnoprometnega hrupa.

Z doslednim upoštevanjem negotovosti pri izdelavi poročil o meritvah okoljskega hrupa bomo lahko dobili neko novo dimenzijo vrednosti na tržišču. Doslej so pri izbiri pooblaščenca številni, če ne celo večina zavezancev špekulativno izbirali tiste z najnižjo ceno. Z upoštevanjem negotovosti se tukaj lahko naredi nekaj več reda. V ta namen je možno vpeljati določene bonuse in maluse glede na kvaliteto oziroma negotovost, ki jo posamezni pooblaščenec oziroma njegovo poročilo lahko zagotovi. Zgolj za primer:

- negotovosti nad ± 10 dB bi predstavljale slabša poročila, za katera bi se zahteval pogostejši monitoring, na primer enkrat do dvakrat letno. Zato bi imela takšna poročila zelo nizko vrednost, verjetno tudi na tržišču.

– negotovosti med ± 3 do ± 5 dB bi predstavljale srednje kvaliteta poročila, za katera bi lahko veljal dosednji monitoring, vsako tretje leto. Oprostitev zavezanca od nadaljnega izvajanja monitoringa bi se izdajala le v primeru visokokvalitetnih poročil z nedvomno potrditvijo zelo nizkih ravni hrupa in z negotovostjo pod ± 2 dB. Seveda bi imela takšna kvalitetna poročila temu ustrezno visoko vrednost.

Pri tem pa so možni tudi drugi bonusi in malusi. Na ta način bi lahko tudi trg nekoliko uredil to področje, saj bi postala tudi kvaliteta oziroma natančnost opravljenih meritev ravni hrupa pomembno merilo pri izboru boljšega pooblaščenca, in ne samo cena.

4 SKLEP

Negotovost kot merilo zanesljivosti se je uveljavila na vseh področjih, ki temeljijo na meroslovju in spremljanju kakovosti. V znatni meri se je razvila tudi na področju geodetskih meritev in meritev zvočne izolirnosti v gradbeni akustiki.

Nujnost analize negotovosti in njeno navajanje je na področju monitoringa okoljskega hrupa zahtevano v mednarodnih pravnih aktih, ki so delno že implementirani v nacionalni pravni red. Področje negotovosti z leti pridobiva veljavo, za kar je usklajenost nacionalnih zahtev in priporočil z mednarodnimi standardi neobhodna.

Nivo negotovosti na okoljskem hrupu je povezan s številnimi vplivnimi faktorji, ki so v medsebojni povezavi in vključujejo vremenske razmere, značilnosti instrumentarija, usposobljenost ter izkušnje izvajalca meritev.

Proračun negotovosti bi torej moral postati sestavni del vsakega izdanega poročila, v katerem je merilna negotovost pomemben faktor izboljšanja kakovosti poročil in s tem učinkovitega ukrepanja.

Rezultati imajo veliko uporabno vrednost k ozaveščanju strokovnjakov in raziskovalcev kot nujnosti in smiselnosti širše uporabe negotovosti v praksi.

5 ZAHVALA

Raziskovalni projekt (naslov projekta: Izdelava metodologije programa preizkušanja za preverjanje kakovosti obratovalnega monitoringa hrupa in izdelava strokovnih podlag za analiziranje poročil o izvajanju obratovalnega monitoringa hrupa; pogodba št. 2551-21-100408, aneks z dne 16. 12. 2021, 10. 3. 2021-30. 4. 2022), naročnik: Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje. Raziskovalni program št. P2-0158 (Gradbene konstrukcije in gradbena fizika) je sofinancirala Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije iz državnega proračuna.

6 LITERATURA

CNOSSOS-EU, Joint Research Centre, Institute for Health and Consumer Protection, Anfosso-Lédée, F., Paviotti, M.,

Kephalopoulos, S., Common noise assessment methods in Europe (CNOSSOS-EU): to be used by the EU Member States for strategic noise mapping following adoption as specified in the Environmental Noise Directive 2002/49/EC, Publications Office, <https://data.europa.eu/doi/10.2788/32029>, 2012.

Craven, N. J., Kerry, G., A good practice guide on the sources and magnitude of uncertainty arising in the practical measurement of environmental noise, University of Salford, Waddington, DC, 2007.

Čubranić, N., Račun izjednačenja, učbenik, Tehnička knjiga Zagreb, 1958.

Dovjak, M., Kušec, A., Creating healthy and sustainable buildings: an assessment of health risk factors, Springer Open, Cham, 2019.

EN ISO, EN ISO 3095:2013, Acoustics. Railway applications. Measurement of noise emitted by rail bound vehicles, International Standards Organization, Geneva, Switzerland, 2013.

Gomez, D. M. M., Jaramillo, A. M., Villegas, J. O., Analysis of the measurement uncertainty and its effects on noise mapping validations, Journal of Environmental Management, 266(15):110606, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110606>, 2020.

Hall, B. D., White, D. R. An introduction into measurement uncertainty, Digital Publisher: Measurement Standards Laboratory of New Zealand, Digital metrology Lab: David Rodney White's Lab, New Zealand, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3872590>, 2020.

Hannah, L., Page, W., McLare, S., An introductory guide to uncertainty in acoustic measurements, New Zealand Acoustics, 30, 3, 6-25, 2003.

ILAC, About ILAC, International Organisation for Accreditation Bodies, <https://ilac.org/>, 2022.

ISO/IEC, ISO/IEC Vodilo 98-3:2008, Merilna negotovost – 3. del: Vodilo za izražanje merilne negotovosti (GUM:1995), International Standards Organization, Geneva, Switzerland, 2008.

ISO/IEC, ISO/IEC Vodilo 98-4:2012. Merilna negotovost – 4. del: Vloga merilne negotovosti pri ugotavljanju skladnosti, International Standards Organization, Geneva, Switzerland, 2012.

ISO, ISO 9613-1:1993, Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere, International Standards Organization, Geneva, Switzerland, 1993.

ISO, ISO 389-1:2017, Acoustics – Reference zero for the calibration of audiometric equipment – Part 1: Reference equivalent threshold sound pressure levels for pure tones and supra-aural earphones, International Standards Organization, Geneva, Switzerland, 2017.

JCGM, JCGM 100:2008 GUM 1995, Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measure-

ment, Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1), International Standard ISO/IEC Guide 98:1995, International Standards Organization, Geneva, Switzerland, 2008.

Koleša, T., Izračun merilne negotovosti za meritve kakovosti zraka, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za hidrologijo in stanje okolja, 2008.

Liepert, M., Mühlbacher, M., Möhler, U., Thomann, G., Schreckenberger D., Uncertainty of calculated noise levels and its influence on exposure response-relationship in the NORAH-project, 12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem, 18 – 22 June 2017, Zurich, Switzerland, 2017.

Probst, W., Uncertainties in the prediction of environmental noise and in noise mapping, *Acoustics and Technuicks*, 24-39, 2005.

Randa, J., Uncertainty Analysis for Noise-Parameter Measurements, Conference on Precision Electromagnetic Measurements, June 8-13, Broomfield, CO, <https://doi.org/10.6028/nist.tn.1530>, 2008.

SA, OA15 – Smernice za poročanje na področju hrupa v okolju. Slovenska akreditacija, Ljubljana, Slovenija, 2017.

SA, OA10 - Smernice ILAC-G17:01/2021 za merilno negotovost pri preskušanju, Slovenska akreditacija, Ljubljana, Slovenija, 2021.

SIST EN ISO/IEC, SIST EN ISO/IEC 17025:2017, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, Slovenija, 2017.

SIST EN ISO, SIST EN ISO 12999-1:2020 - Acoustics - Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics - Part 1: Sound insulation (ISO 12999-1:2020), Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, Slovenija, 2020.

SIST EN ISO, SIST EN ISO 12999-2:2021, Acoustics - Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics - Part 2: Sound absorption (ISO 12999-2:2021), Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, Slovenija, 2021.

SIST ISO, SIST ISO 1996-1:2016, Akustika - Opis, merjenje in ocena hrupa v okolju - 1. del: Osnovne veličine in ocenjevalni postopki, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, Slovenija, 2016.

SIST ISO, SIST ISO 1996-2:2017, Akustika - Opis, merjenje in ocena hrupa v okolju - 2. del: Določanje ravni hrupa v okolju, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, Slovenija, 2017.

SIST-V, SIST-V ISO/IEC Vodilo 99: 2012, Mednarodni slovar meroslovja – Osnovni in splošni koncepti ter z njimi povezani izrazi (VIM), Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, Slovenija, 2012.

UKAS, LAB 48 Edition 3 June 2020 Decision Rules and Statements of Conformity, United Kingdom Accreditation Service, https://www.ukas.com/wp-content/uploads/schedule_uploads/759162/LAB-48-Decision-Rules-and-Statements-of-Conformity.pdf, 2020.

UL ES, Direktiva Komisije (EU) 2015/996 z dne 19. maja 2015 o določitvi skupnih metod ocenjevanja hrupa v skladu z Direktivo 2002/49/ES Evropskega parlamenta in Sveta, 2015.

UL RS, Pravilnik o varovanju delavcev pred tveganji zaradi izpostavljenosti hrupu pri delu, Uradni list RS, št. 17/06 s spr., 2006.

UL RS, Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje, Uradni list RS, št. 105/08, 2008.

UL RS, Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, Uradni list RS, št. 43/18 s spr., 2018.

UL RS, Pravilnik o obratovalnem monitoringu stanja podzemne vode, Uradni list RS, št. 13/21 s spr., 2021.

Vilela, M. J., Oluyemi, G. F., Decision-Making: Concepts, Principles, and Uncertainty. In: Value of Information and Flexibility. Petroleum Engineering. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-86989-2_1, 2022.

Rudi Hajdinjak, univ. dipl. inž. str.
rudi@hajdinjak.si
Črešnjevci 69, 9250 Gornja Radgona



Strokovni članek
UDK 691.6

STEKLO V GRADBENIŠTVU IN ARHITEKTURI

GLASS IN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Povzetek

Standard DIN 18008 [DIN, 2020a] ureja problematiko varovanja ljudi v primerih, ko bi lahko bila zaradi neposrednega stika s steklom ogrožena njihova varnost. V njem najdemo navedbe, kako izbrati ustrezno vrsto stekla, kako izračunati njegovo debelino in kako ga vgrajevati. Izračun stekla se s tem postavlja na koncept »koeficienta delne varnosti« (koncept projektiranja po standardih Evrokod), ki se že leta uporablja pri ostalih gradbenih materialih, na primer jeklo, beton in les. Do sedaj veljavni tehnični pravilniki in DIN-standardi za izračunavanje in konstruiranje zasteklitev so s tem združeni v en pravilnik.

V nobenem dokumentu pa ni zgoščeno navedeno, katero zasteklitev naj izberemo za točno določen gradbeni element in konkretno stopnjo ogroženosti. Zato je Bundesverband Flachglas izdal smernico [Bundesverband Flachglas, 2020], v kateri je objavil preglednico varnostnih zasteklitev. Za večino mogočih situacij navaja podatke o vseh možnih izvedbah zastekljevanja.

Ključne besede: steklo, standard DIN 18008, izračun

Summary

The DIN 18008 standard [DIN, 2020a] regulates the issue of protecting people in cases where their safety could be endangered by direct contact with glass. It contains information on how to choose the appropriate type of glass, how to calculate its thickness and how to install it. The calculation of glass is based on the concept of the "partial safety coefficient" (design concept according to Eurocode standards), which has been used for years with other building materials such as steel, concrete and wood. The current technical rules and DIN standards for calculating and constructing glazing are hereby combined into one rule.

However, no document states in a condensed form what glazing should be chosen for a specific building element and a specific risk level. Therefore, the Bundesverband Flachglas issued a guideline [Bundesverband Flachglas, 2020] in which it published a table of safety glazing. It provides information on all possible glazing options for most possible situations.

Key words: glass, DIN 18008 standard, calculation

1 MODERNA FUNKCIJSKA STEKLA

Steklene fasade dajejo pečat metropolam po vsem svetu. Od oblikovanja notranjosti preko konstrukcijske uporabe in vse do ovoja zgradb – steklo je danes pomemben material v gradbeništvu in arhitekturi. Najpogostejše se uporablja natrij-kalcijevo-silikatno steklo.

Moderna funkcijska stekla ščitijo pred izgubo toplote ali pred obremenitvami zvoka. Prav tako lahko kot varnostna stekla dodatno varujejo pred padci (slika 1), izstrelki različnega orožja, eksplozijami ali poškodbami, lahko pa v sebi združujejo požarno odporne lastnosti. Steklo lahko ujame brezplačno svetlobo in energijo sonca in po želji tudi zaustavi preveč sončne energije. Strnjeno povedano – steklo je večfunkcijsko.

Razvoj stekla pa se ne kaže samo v izboljšanih tehničnih lastnostih. Z inovativnimi proizvodnimi procesi so se razvile nove zanimive oblikovalske možnosti, ki zadovoljujejo najvišje estetske zahteve. Za obdelavo in predelavo teh več funkcijskih stekel je potrebna tudi ustrezna tehnologija. Ta se je razvijala istočasno z razvojem stekla. Tako je lahko danes vsak proizvodni proces (izolacijsko ali varnostno steklo) popolnoma avtomatiziran in omogoča obdelavo stekla zelo velikih dimenzij. Najpogostejša dimenzija ploščatega stekla je 3,2 m x 6 m. Inovativnost v proizvodnji izolacijskega stekla v zadnjih letih pričakovanj ni samo izpolnila, temveč jih je celo presegla. S tem sta omogočeni tako umetniško oblikovanje fasad velikih dimenzij kot tudi plemenita in graciozna uporaba v notranjosti, torej na vseh področjih življenja in dela.



Slika 1. Talno vpeta steklena ograja.

V povezavi z atraktivnimi oblikovalskimi postopki arhitekture lahko poda markanten obraz ali se diskretno zadrži. Tudi v konstrukcijskem področju se steklo danes uporablja vedno bolj pogosto. Steklo je gradbeni material 21. stoletja.

Da se je obdržal neverjetni zmagovalni pohod funkcijskega stekla v arhitekturi in gradbeništvu, ima zaslugo v prvi vrsti transparentnost tega materiala. Noben drug material v gradbeništvu ni – ob tako velikem številu različnih funkcij – zagotovil še čist pogled iz notranjosti navzven.

Pri tem je steklu uspelo v zadnji desetletjih s stalnimi inovativnimi izdelki steklarske industrije ob transparentni osnovni funkciji stekla integrirati obilo raznolikih uporabnih možnosti v arhitekturno zasteklitev (slika 2).

Iz stekla, ki v preteklosti ni imelo druge naloge, kot da za pre odprtino v zidu, se je danes razvil v večfunkcijski izdelek s »hightech« karakterjem. Energetske in optične zahteve za zunanji ovoj stalno naraščajo. Tudi v notranjosti doživlja fascinantni material steklo osupljiv zmagovalni pohod.



Slika 2. Zasteklitev do tal ob pohodni površini.

2 DIMENZIONIRANJE STEKLA

Gradbeni elementi iz stekla, ki so uporabljeni v gradbenih konstrukcijah, morajo biti dimenzionirani skladno z veljavnimi tehničnimi pravilniki in preračunani na pričakovane vplive. Kot na primer SIST-TS CEN/TS 19100 [SIST, 2022], ki je pravzaprav predhodnik Evrokoda za steklene konstrukcije, ki ga izdaja, se pričakuje v prihodnosti.

Potrebno debelino stekla lahko določimo tudi skladno z zahtevami v DIN 18008:

Del 1: Izrazi in splošne osnove. [DIN, 2020a]

Del 2: Linijsko vpete zasteklitve. [DIN, 2020b]

Del 3: Točkovno vpete zasteklitve. [DIN, 2013a]

Del 4: Dodatne zahteve za zasteklitve, ki varujejo pred padcem v globino. [DIN, 2013b]

Del 5: Dodatne zahteve za pohodne zasteklitve. [DIN, 2013c]

Del 6: Dodatne zahteve za delno pohodne zasteklitve za čiščenje in vzdrževanje. [DIN, 2018]

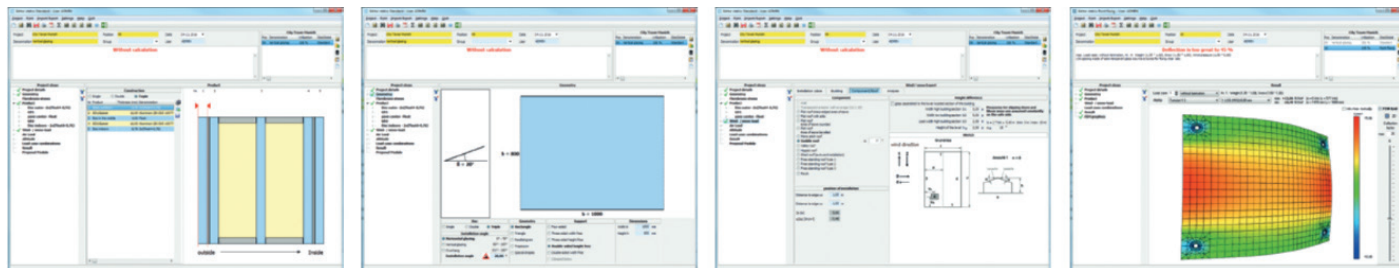
Profesionalna programska oprema za statiko v skladu z DIN 18008 [DIN, 2020a] vsebuje vse potrebne izračune in obremenitve. Na razpolago je več računalniških programov, na primer GLASTIK Professional, SJ-MEPLA, GLASGLOBAL ...

S programom GLASGLOBAL®18008 [Sommer Informatik, 2022] je mogoče statično dimenzionirati stekla v skladu z DIN 18008 [DIN, 2020a]. Med izračunom se preverijo vse obremenitve, ki jih je treba upoštevati, kot so sneg, veter, lastna teža, prometne obremenitve ali podnebna nihanja zračnega tlaka in temperature. Napetosti in deformacije se primerjajo z dovoljenimi vrednostmi in se prikažejo v poročilu rezultatov (slika 3).

3 VRSTE STEKLA GLEDE NA NAMEN UPORABE

Preglednica 1 prikazuje vrste stekla glede na namen uporabe. V preglednici so navedene enojne zasteklitve in zasteklitve z izolacijskim steklom ter ustrezni tehnični predpisi.

Primer: Za horizontalno oziroma nadglavno, enojno zasteklitev vidimo, da je pravilna izbira varnostno lepljeno steklo (VSG). Velikokrat se dogaja, da se za različne nadstreške uporablja kaljeno varnostno steklo (ESG), predvsem pri domačih, zasebnih



Slika 3. Program GLASGLOBAL®18008 [Sommer Informatik, 2022].

Namen uporabe	F ^q	ESG ^a	F	VSG TVG	ESG	Pravilnik
Vertikalna zasteklitev (brez zaščite pred padcem v globino)						
Vertikalna zasteklitev (linijska)	■	s	s	s	s	DIN 18008-2
Vertikalna zasteklitev enojno steklo	■	b	b	■	■	DIN 18008-3
(točkovno) izolacijsko steklo	b	b	b	b	b	DIN 18008-3
Prezračevana fasada	■	■	c	c	c	DIN 18516-4
Strukturna zasteklitev notri	■	■	■	■	■	ETAG 002
zunaj	■	■	■	■	■	
Stabilizatorji	■	■	■	■	■	Odobritev tipa, povezana s projektom
Izložbena okna	■	■	■	■	■	DIN 18008-2 ^d
Izložbena okna do tal, steklene stene z vrati in vetrolovi	■	■	■	■	■	DGUV Regel 108-005, ARBStättV, DGUV Inform. 208-014, ASR A1.7
Zvočno zaščitna stena	■	■	■	■	■	DIN 18008-2, ZTV-LSW 06
Horizontalna zasteklitev (nad pohodnimi površinami)						
Horizontalna zasteklitev ^e zgoraj (linijska)	■	■	■	■	■	DIN 18008-2
spodaj	■	■	■	■	■	
Horizontalna zasteklitev ^{e,f} (točkovna)	■	■	■	■	■	DIN 18008-3
Pohodna zasteklitev	■	■	g	■	g	DIN 18008-5
Delno pohodna zasteklitev zgoraj	■	■	■	■	■	DIN 18008-6
in zasteklitev proti padcu spodaj	■	■	■	■	■	
Steklen nosilec	■	■	■	■	■	vBG
Steklen nadstrešek	■	■	h	■	■	DIN 18008-2
Steklena lamela	■	■	h	■	■	DIN 18008-2
Zasteklitev za zaščito pred padcem v globino						
Zasteklitev od tal do stropa enojno	■	■	■	■	■	DIN 18008-4
(Kat. A) izolacijsko	ij	j	■	■	■	
Steklena ograja z ročajem	■	■	k	■	■	DIN 18008-4
(Kat. B)	■	■	■	■	■	
Polnilo ograje točkovno vpeto ^l (Kat. C1)	■	■	■	■	■	DIN 18008-4
Polnilo ograje linijsko vpeto (Kat. C1)	■	m	■	■	■	DIN 18008-4

Zasteklitev pod prečko (Kat. C2)	enojno izolacijsko	 	  	DIN 18008-4
Zasteklitev od tal do stropa z nosilnim ročajem (Kat. C3)	enojno izolacijsko	       	     	DIN 18008-4
Dvojna fasada	notri ⁿ zunaj	   	     	DIN 18008-4
Dvigalni jašek		     		DIN 18008-4, EN81-20
Zasteklitve v stavbah za posebno uporabo				
Pisarne (stene, vrata, itd.)		 	     	ARBSTÄTTV, ASR A1.6, DGUV R.108-005
Šole		 	     	DGUV VORSCHRIFT 81
Dnevno varstvo otrok		 	     	DGUV Regel 102-602
Bolnice		 	     	DGUV Information 207-016
Nakupovalna območja		 	     	DGUV Regel 108-005
Plavalni bazeni		 	     	GUVR-R/111, DGUV Regel 107-001
Športne dvorane		 	     	DIN 18032-1, DGUV 202-044
Dvorane za skvoš		 	     	DIN 18038 ² , DGUV 202-044
Garažne hiše, avtobusne postaje itd.		 	     	ARBSTÄTTV Anh. 1.7(4), ASR A1.6, ASR A1.7
Vhodne dvorane in vhodna območja		 	     	ARBSTÄTTV, DGUV R. 108-601, ASR A1.7
Uporaba v notranjih prostorih brez zaščite pred padcem v globino				
Tuš kabine		 	     	DIN EN 14428
Vratno polnilo		 	     	ARBSTÄTTV, DGUV Inform. 208-014
Vratno polnilo na zgornji tretjini vrat		 	     	DGUV Information 208-014
Steklena vrata		       		AERBSTÄTTV, DGUV Inform. 208-014, ASR A1.7, DGUV Regel 108-005
F Float steklo ESG Kaljeno varnostno steklo VSG Lepljeno varnostno steklo TVG Delno kaljeno steklo  Minimalna zahtevana vrsta stekla  Priporočena vrsta stekla  Alternativno uporabna vrsta stekla  Vrsta stekla z omejeno uporabo  Vrsta stekla, ki je ni mogoče uporabiti				
a Po DIN 18008-2, so lahko enojna stekla ali zunanja enojna stekla v izolacijskem steklu, iz kaljenega varnostnega stekla (ESG) in kaljenega stekla s toplotnim preizkusom, zaradi verjetnosti loma zaradi nikelj sulfidnega vključka (spontanega loma), vgrajena stekla katerih zgornji rob je manj kot 4 m nad prometnimi površinami. Uporabi pa se lahko kaljeno steklo s toplotnim preizkusom, brez omejitev višine vgradnje, če se, z ustreznimi ukrepi zagotavljanja kakovosti, doseže ustrezna omejitev verjetnosti loma, razred zanesljivosti RC2 (RC; en: reliability class) po DIN 1990. b Po DIN 18008-3 samo z uporabo robnih držal. c Za uporabo VSG je potrebno abZ ali ZIE. d Zaenkrat ni dodatnih pravil. e Če se uporablja izključno enojno steklo veljajo, kot ustrezna vrsta stekla, zahteve za spodnje steklo v izolacijskem steklu. f Po DIN 18008-3 samo pri uporabi držal s ploščicami. Uporablja se lahko samo enojna zasteklitev. g Po DIN 18008-5 je lahko zgornji sloj stekla ESG namesto TVG. h Pri točkovnem vpetju je izvedba možna samo VSG iz TVG. i Po DIN 18008-4 se lahko, neposredno za udarno zasteklitvijo iz kaljenega varnostnega stekla, uporabijo vrste stekla z gorbo sliko loma, če se slednje ne zlomi pri preskusu udarca z nihalom. j Na splošno mora biti, vsaj eno steklo v izolacijskem steklu, lepljeno varnostno steklo. k Lepljeno varnostno steklo iz float stekla, ki je zasnovano kot zasteklitev kategorije B, ni zajeto v tabeli B.1 po DIN 18008-4. l Za vpetje z robnimi držali je potrebno abZ ali ZIE. m Samo enojna zasteklitev kategorije C1 in C2, po DIN 18008-4 linijsko vpeto po vseh straneh, je lahko zasnovana tudi kot enojno kaljeno varnostno steklo. n Brez zaščite pred padcem v globino. o Prosojne površine morajo biti izdelane iz materialov, ki so varni v primeru loma do višine 2,0 m ali pa morajo biti ustrezno zaščitene. p Zadnja stena mora biti minimalno iz 12 mm ESG po DIN 18038 (zdaj umaknjen). q Float steklo po EN 572-2. r Enojna zasteklitev. s ESG ali VSG se priporoča pod višino parapeta. Po: Glasbau, Grundlagen · Berechnung · Konstruktion, 2. Auflage, Jens Schneider, Johannes Kuntsche, Sebastian Schula, Frank Schneider, Johann-Dietrich Wörner VDI-Buch, Springer Vieweg, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2001, 2016				

Preglednica 1. Vrste stekla glede na namen uporabe [Bundesverband Flachglas, 2020].

izvedbah. Kaljeno varnostno steklo (ESG) res spada v kategorijo varnostnega stekla in ima ustrezne lastnosti, ki ga uvrščajo v to kategorijo. Vendar pa v primeru loma kaljeno steklo razpade na veliko število majhnih delčkov, in če je vgrajeno horizontalno, ne ostane v vpetju. To pomeni, da lahko delčki padejo na uporabnika objekta.

Kaljeno varnostno steklo nima ostanka nosilnosti v primeru loma, kot ga ima varnostno lepljeno steklo.

4 SKLEP

Steklo je res poseben, enkraten gradbeni material, ki ima ogromno dobrih lastnosti. Hitro pa lahko postane nevaren gradbeni material za uporabnike objektov ob nepravilni izbiri in vgradnji stekla.

Navedene informacije naj bodo v pomoč za pravilno izbiro ustrezne vrste stekla glede na namen uporabe. Prispevek jedrnato predstavlja trenutno stanje tehnike na področju stekla v gradbeništvu in arhitekturi.

5 LITERATURA

Bundesverband Flachglas: Richtlinie 022 / 2018 – Änderungsindex 1 – Februar 2020: Verglasungsrichtlinie. Bundesverband Flachglas e. V, Troisdorf, 2020.

DIN, DIN 18008-3:2013-02: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln Teil 3: Punktförmig gelagerte Verglasungen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2013a.

DIN, DIN 18008-4:2013-07: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln Teil 4: Zusatzanforderungen an absatzsichernde Verglasungen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2013b.

DIN, DIN 18008-5:2013-07: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln Teil 5: Zusatzanforderungen an begehbare Verglasungen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2013c.

DIN, DIN 18008-6:2018-02: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln Teil 6: Zusatzanforderungen an zu Instandhaltungsmaßnahmen betretbare Verglasungen und an durchsturzsichernde Verglasungen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2018.

DIN, DIN 18008-1:2020-05: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln Teil 1: Begriffe und allgemeine Grundlagen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2020a.

DIN, DIN 18008-2:2020-05: Glas im Bauwesen – Bemessungs- und Konstruktionsregeln Teil 2: Linienförmig gelagerte Verglasungen, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, 2020b.

SIST, SIST-TS CEN/TS 19100-1:2022: Projektiranje steklenih konstrukcij - 1. del: Osnove projektiranja in materiali, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2022.

Sommer Informatik GmbH: GLASGLOBAL®18008, www.sommer-informatik.com/glas-global/, Sommer Informatik GmbH, Rosenheim, 2022.



Implementacija trajnostnih kriterijev v BIM

9. junij 2022, strokovno srečanje v prostorih Xella porobeton v Kisovcu



V Kisovcu, 14. junija 2022: Slovensko združenje za trajnostno gradnjo GBC Slovenija je v sodelovanju z družbo Xella porobeton v juniju organiziralo strokovno srečanje na temo informacijskega modeliranja gradenj BIM in digitalizacije v gradbeništvu, ki ga je v Kisovcu spremljalo več kot 40 udeležencev iz gradbene in arhitekturne stroke. Predavatelji so BIM-projektiranje predstavili tudi v luči nove gradbene zakonodaje, izpostavili primere iz prakse ter predstavili nova orodja, ki omogočajo natančno geometrijo 3D-objektov v prostoru. Predavanja so prispevali strokovnjaki z Zavoda za gradbeništvo (ZAG) ter iz družb Xella Slovenija, Pilon AEC, Knauf Insulation, iProstor, Elea iC in Infracor, inženirjem projektantom in arhitektom iz vrst IZS in ZAPS pa sta zbornici za strokovno izpopolnjevanje dodelili kreditne točke.

Digitalizacija vse bolj vstopa tudi v gradbeništvo, ki na tem področju močno zaostaja za drugimi industrijami. To se odraža



tudi v novi slovenski gradbeni zakonodaji, ki za nekatere vrste objektov določa obvezno uporabo BIM-metodologije. Uvajanje BIM je večstopenjski proces za digitalno projektiranje in gradnjo.

Nov koncept projektiranja v gradbeništvu po metodologiji BIM se je začel uveljavljati v prejšnjem desetletju, kar je omogočilo hitrejšo in učinkovitejšo gradnjo objektov ter njihovo ce-



nejše vzdrževanje. To je hkrati pomenilo tudi začetek procesa digitalizacije gradbenega sektorja.



Na iniciativo več slovenskih projektantskih podjetij in ponudnikov programske opreme je bilo pri nas v letu 2015 ustanovljeno slovensko združenje za informacijsko modeliranje gradenj **siBIM**, ki ima danes več kot 200 članov. Udeležencem ga je predstavil **Mitja Cizej**, član UO združenja ter direktor podjetja iPROSTOR. Poudaril je, da je Slovenija v sodelovanju združenja siBIM in MGRT že pripravila nacionalni akcijski načrt uvajanja BIM v gradbeništvo, a kljub več usklajevanjem na vladi ni bil sprejet. siBIM je zatem skupaj z Združenjem za svetovalni inženiring pri GZS pripravil skrajšano verzijo in novi »Večstopenjski načrt za digitalno projektiranje in gradnjo« predstavil tudi ministrstvu za digitalizacijo, in pričakovati je, da ga bo nova vlada kmalu tudi sprejela.



Za uvajanje informacijskega modeliranja gradenj BIM je zelo pomembna tudi **standardizacija**, zato je bil pri **SIST** ustanovljen **tehnični odbor**, kjer imajo člani siBIM možnost sodelovati pri nastajanju novih standardov, o njih razpravljati in jih spreje-

mati. Na področju digitalizacije grajenega okolja je za učinkovito izmenjavo digitalnih informacij pomemben zlasti razvoj odprtih BIM-standardov (OpenBIM), kot so IDM, BCF, MVD ter IFC, za njihovo uveljavitev pri nas pa v okviru siBIM skrbi delovna skupina **buildingSMART Chapter Slovenija**.



BIM je postopek ali metoda upravljanja informacij za stavbe, pri čemer se uporabljajo skupni digitalni prikazi fizičnih in funkcionalnih lastnosti grajenih objektov. Pri pristopu **OpenBIM** se modeli in podatki izmenjujejo s pomočjo standardiziranih odprtih formatov, med katere spadata tudi **IFC** za izmenjavo modelov in **BCF** za izmenjavo komentarjev, vezanih na gradnike modelov v fazi koordinacije. Pri pristopu **OpenBIM** je mogoče uporabljati poljubno programsko opremo, ki omogoča pisanje in branje odprtih formatov.

Prav tako pri nas deluje delovna skupina za **profesionalno certificiranje**, ki pripravlja učne materiale in izpite v slovenščini, izobraževanja in certificiranja pa bodo stekla letos jeseni. Lani je bila ustanovljena še **posvetovalna skupina**, ki jo sestavlja 10 uglednih BIM-specialistov. Ti obdelujejo novi gradbeni zakon, BIM-zhteve pri razpisih ter pripravljajo BIM-priročnike. Za pripravo podzakonskih aktov pripravljajo pojasnila in odgovore na številna vprašanja glede obsega projektne dokumentacije, pridobitve projektnih ter drugih pogojev, mnenj in gradbenih dovoljenj, pa tudi za izvedbo gradnje, izvedena dela, projekte obnov, rekonstrukcij in odstranitve starejših objektov. Prav tako sodelujejo pri zahtevah BIM pri razpisih in dokazilih za uporabo BIM-orodij pri projektni dokumentaciji. BIM-priročniki bodo namenjeni različnim deležnikom projekta, torej načrtovalcem infrastrukturnih projektov in stavb, izvajalcem, nadzornikom ter upravljavcem in vzdrževalcem. V uvajanje BIM-a v Sloveniji je vključen tudi **IZS**, ki je podprl izdelavo priročnika, ki je v pomoč naročnikom pri pripravi ustreznih razpisov za implementacijo BIM-pristopa za gradnje.

V novem gradbenem zakonu BIM omenja le 39. člen, in sicer za objekte javnega pomena, ki jih financira država. V treh letih od uveljavitve zakona se bodo tako s 1. 1. 2025 gradbena dovoljenja za te objekte odobrila le ob pogoju, če bo projekt načrtovan po BIM-metodologiji.

Program Archicad in LCA-analize

Pri BIM-projektiranju se v arhitekturi in gradbeništvo že vrsto let uporablja program Archicad, ki ga je predstavil **Gorazd Rajh** iz družbe **Pilon AEC**. Projektant z BIM ustvari digitalni 3D-dvojček bodoče zgrajene stavbe, ki ima svoje geometrijske lastnosti ter vsebuje informacije o stavbi in posameznih elementih. Program Archicad, ki je eden najbolj razširjenih BIM-rešitev na svetu, ponuja izračun energijske učinkovitosti stavbe ali energetskih potreb bodoče stavbe, medtem ko LCA-analiza upošteva še vsebnost CO₂ v gradbenih materialih (od njihovega nastanka in do zaključka življenjskega cikla

stavbe) ter popis konstrukcijskih materialov in stavbnega pohištva.

»BIM-projektiranje je pomembno zlasti zato, da dobimo čim bolj natančne količine materialov, če pa so te opremljene še z informacijami o gradbenih materialih iz produktnih deklaracij (EPD-ji), je mogoče hitro izračunati, koliko in kateri materiali so vgrajeni v stavbi, kakšne so njihove okoljske lastnosti in končni seštevki emisij CO₂ vseh vgrajenih elementov. Podatki so prikazani v grafih in diagramih. Letos bo na voljo program



Archicad 26, saj si EU prizadeva vanj vključiti še okoljske informacije, s katerimi bodo opremljene tudi BIM-knjižnice,« je sklenil Rajh in napovedal, da v podjetju že pripravljajo orodje, s katerim bodo projektanti s pomočjo modela v programu Archicad za projektirano stavbo hitro in enostavno pripravili tudi LCA-analizo.

Na številne prednosti projektiranja s pomočjo informacijskega modeliranja gradenj BIM ter digitalizacije v gradbeništvu opozarjajo zlasti strokovnjaki na **Zavodu za gradbeništvo**, ki je pri nas osrednja institucija, ki povezuje industrijo, raziskovalce in odločevalce. Na ZAG-u izpostavljajo velik pomen izdelavam okoljskih analiz, izračunom gradbene fizike ter ekonomični rabi virov in energije v stavbah. Vodja laboratorija za toplotno zaščito in akustiko **doc. dr. Katja Malovrh Rebec** je opozorila, da so se v gradbenem sektorju predolgo fokusirali le na izdelavo analiz LCC (Life Cycle Costing), za potrebe analiz vplivov na okolje LCA (Life Cycle Assessment) v fazi življenjskega cikla stavb pa pri nas šele dobro razvijamo orodja, ki bodo podlaga za sprejetje ustreznih ukrepov. Z LCA-analizami je mogoče pridobiti **oceno vpliva gradnje objekta na okolje** ter predvideti tudi razna tveganja pri ohranjanju okolja in virov. LCA-analiza bo kmalu postala tudi obvezen del projektne dokumentacije pri gradnji novih stavb. Pojasnila je, da imamo pri nas za pripravo LCA-analiz sistem pravil za stavbe, gradbene proizvode, metodologije in implementacije dobro razdelan, prav tako vzpostavljene standarde in ustrezne zakonske podlage: »LCA-analize so definirane s scenariji, ki upoštevajo vse faze gradnje – od proizvodnje in gradnje do rabe in zaključka življenjskega cikla stavbe. Na osnovi popisov vseh uporabljenih gradbenih materialov je mogoče najprej izračunati okoljski odtis za samo tovarno, od koder gradbeni materiali prihajajo, pri tem pa preverjati, koliko energentov proizvajalec potrebuje za njihovo proizvodnjo. Podobno je z merjenem odtisa na gradbišču in v kasnejših fazah rabe objekta.« Opozorila je, da so študije LCA odvisne od nastavljenih predpostavk in scenarijev, saj ocenjujejo resnični svet v poenostavljenem modelu, a lahko ob neupoštevanju enakih izhodišč prihaja med njimi do velikih razlik. Vsak projektant stremi k temu, da bi imel popisano celotno stavbo, kar pa pogosto pomeni popis vseh uporabljenih materialov in elementov na enak način, da bodo pripravljene LCA-analize tudi medsebojno primerljive.

Danes se projektanti že zanašajo na primerno pripravljene podatkovne baze in so obdani z bistveno več informacijami, na podlagi katerih sprejemajo odločitve. Z digitalizacijo se bo mogoče izogniti morebitnim napakam in izgubljenim podatkom. V Sloveniji si v združenju siBIM prizadevajo za združitev v eno podatkovno okolje (IFC, OpenBIM), v katerem bi plačljive ali neplačljive verzije programov lahko medsebojno komunicirale, izmenjava podatkov pa bi bila bolj kakovostna. Odprto informacijsko modeliranje zgradb tako predstavlja moderen način za izboljšanje projektne komunikacije, izmenjavo informacij in sodelovanje deležnikov v gradbeništvu.

Proces vpeljave LCA-analiz v gradbeništvo traja že nekaj let, vse bolj pa so izpopolnjeni tudi standardi. Seveda si je za dobro študijo treba vzeti čas, pomembni pa so tudi nivo

znanja in veščine analitikov. Poleg tega vsi osnovni podatki niso javno dostopni, niso dobro razdelani ali pa tudi niso primerljivi. Poročanje o rezultatih LCA-analize poteka v parametrični obliki, obravnavane parametre pa je treba uravnoteženo pregledati in jih znati tudi smiselno analizirati in interpretirati. Z iskanjem »hot spotov« skušajo projektanti najti točke, primerne za izboljšave v stavbah, vse skupaj pa rezultira v obliki jasnega in razumljivega dokumenta, kot je EPD. Ta dokument je praktično analiza LCA, izdelana po standardih in objavljena v strnjem dokumentu s tabelami in obrazložitvami ter pregledana pri neodvisnem recenzentu. ZAG je član evropskega združenja, ki skrbi, da so LCA-ji narejeni enako po vsej Evropi, kar je za poenotenje trga zelo pomembno. Združenje ima zelo veliko in odprto bazo EPD-jev, iz katerih je mogoče sestaviti LCA-stavbe. To je koristno tudi za prostovoljno okoljsko certificiranje stavb, saj prinaša pri ocenjevanju dodatne točke. Za potrebe digitalizacije je treba podatke oz. izračune na nivoju stavbe vnesti v BIM-komunikacijo. Vizualni 3D-model ne zadošča več, pač pa je treba že v času načrtovanja objekta predvideti tudi okoljske okvire (katere okoljske odtise bomo povzročali in s katerimi materiali, saj to vpliva na upravljanje objektov) ter finančne okvire tako v času gradnje kot tudi uporabe stavbe, vključno z vzdrževanjem.

Pri nas je bilo z metodologijo BIM izvedenih zlasti veliko infrastrukturnih projektov, ki jih prvenstveno financira država, v njih pa sodeluje tudi nekaj zasebnih podjetij. Mednje sodijo javni projekti družb DARS (izgradnja vzhodne cevi AC-predora Karavanke), DRSI (novi del železniške proge Maribor–Šentilj–državna meja), 2TDK (drugi tir Divača–Koper), Stanovanjskega sklada RS (stanovanjska soseska Novo Brdo v Ljubljani) ter HESS (HE Brežice).

BIM-projektiranje v praksi

Evropa pri gradnji stavb prisega na uporabo učinkovitih, trajnostnih in cenovno dostopnih gradbenih materialov, ki jih bo mogoče ponovno uporabiti ali reciklirati. Tudi slovenski proizvajalci gradbenih materialov si v svojih proizvodih in procesih prizadevajo občutno zmanjšati ogljični odtis, nujni postajajo tudi prehod na krožno gospodarstvo, povečanje uporabe obnovljivih virov energije, minimiziranje odpadkov in naložbe v energetsko učinkovito proizvodno opremo. Tudi v kisoški družbi **Xella porobeton** so trajnostnost v korist družbe, zaposlenih in okolja vpeli v svoje okoljsko, socialno in korporativno upravljanje in s svojimi gradbenimi materiali pomembno prispevajo h gradnji energetske učinkovitih stavb in k zmanjšanju vpliva CO₂. Z recikliranjem in ponovno uporabo surovin skrbijo za ohranjanje naravnih virov in minimizirajo količine odpadkov, inovacije pa vpeljujejo v vse svoje tovarne po Evropi.

Proizvajalci gradbenih materialov, usmerjeni k trajnostnosti, so tako strateško zavezani k izboljšavam svojih proizvodov, ki so tudi okoljsko vse bolj premišljeni. Prav tako si prizadevajo, da bi bila vključno z materiali in procesi trajnostno zasnovana tudi veriga dobaviteljev. Z okoljskimi deklaracijami proizvodov (EPD-ji) dokazujejo trajnostnost svojih izdelkov v njihovem celotnem življenjskem ciklu, ki predstavlja enotno merljiv vpliv na okolje.



»Ker so pri nas potrebe po hitri in učinkoviti trajnostni gradnji vse večje, na trgu pa kronično primanjkuje kvalitetne delovne sile, smo v Xelli vpeljali kar nekaj novosti,« je poudaril gradbeni inženir **Miloš Kmetič**. »Razvili smo nov sistem hitre gradnje z izdelki **Ytong Jumbo**, ki so kar trikrat večji kot klasični zidni bloki in omogočajo kar 25-% prihranek časa gradnje. Vpeljava velikoformatnih elementov, s katerimi že narekujemo nove trende pri masivni gradnji, omogoča tudi 3D-planiranje in gradnjo praktično brez odpadnega materiala,« je pojasnil Kmetič in dodal, da se z BIM-načrtovanjem za oceno naložbe v gradnjo hiš vključujejo že v začetnih fazah projektiranja. Med novostmi so še po meri izdelani **stenski paneli**, ki jih odlikuje hitra vgradnja z manj delovne sile. Osnovo ponuja IFC model (OpenBIM) z izbiro materialov in rešitvami v zvezi s porabo materialov in odpadkov, pravočasnih dobav na gradbišče ter optimizacije procesa gradnje. Za svoj prvi ogljično nevtralen in zeleni proizvod Xella ponuja še toplotno izolacijo **Multipor**, kar dokazujejo z EPD-jem, v BIM pa so zajeti vsi potrebni podatki, lastnosti in ključne številke, ki so upoštevani tudi pri obračunih ali opremi.

Gradbeni inženir **Rok Karmuzel** je zatem udeležencem predstavil demonstracijsko-izobraževalni objekt **Knauf Insulation Experience center (KIEXC)**, ki je bil v letu 2018 pri nas prva novozgrajena stavba z DGNB-certifikatom ter eden prvih pilotnih projektov v Sloveniji, ki je vrednoten po evropskem okviru trajnostnih kriterijev Level(s) ter dodatnih trajnostnih merilih Active House. Trajnostna stavba je bila načrtovana po BIM-metodologiji, kar je omogočalo dobro pripravo projekta že pred gradnjo. BIM-načrtovanje je potekalo le za arhitekturni del, ne pa tudi za strojne in elektroinstalacije, saj v zgodnji fazi

načrtovanja projekta tega BIM rešitve še niso niti dobro pokrivale. Možnost za projektiranje po BIM-u je zato izjemnega pomena tako za fazo načrtovanja kot tudi kasnejše obvladovanje stroškov gradnje stavbe in njenega vzdrževanja. Pri BIM-načrtovanju so uporabljali svoje BIM-knjižnice (Archicad, Revit), v katerih so navedene vse karakteristike uporabljenih materialov (EPD-ji), kar je tudi podlaga za pripravo analiz za vrednotenje objekta.



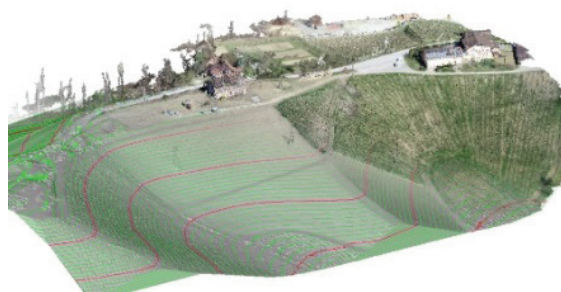
BIM temelji na informacijah v modelih, brez njih pa (parametrični) 3D-model projektantu služi le kot podlaga za izdelavo načrtov. Z informacijami lahko modele nadgradimo in uporabljamo za dodatne analize, kot so medsebojna preverba modelov, terminsko in stroškovno planiranje gradnje in upravljanje grajenega okolja. »Glavno vodilo BIM-načrtovanja pri projektu je ustvariti dodano vrednost, ki pa si jo je treba zadati že na začetku projekta,« je poudaril **Matic Skalja** iz družbe **Elea iC**, ki je skupaj s projektantom **Alešem Dolencem** predstavil proces, prednosti in specifične BIM-modeliranja za projekt MSU – Muzeja sodobne umetnosti Bled, ki je trenutno v izgradnji.



Nova orodja za natančno geometrijo 3D-objektov v prostoru

Sodobna tehnologija omogoča vse hitrejši in natančnejši zajem podatkov. **Matic Ledinek**, mag. inž. grad., iz družbe **Infracor** je prispeval predavanje o oblakih točk (**Point Cloud**), ki so najboljša povezava med realnostjo in modelom BIM, s čimer je mogoče zajeti natančno geometrijo 3D-objektov v prostoru.

Oblak točk je množica ogromnega števila točk, ki imajo v prostoru natančno določene koordinate in tudi barvo. Zajemati jih je mogoče s fotogrametrijo ter z laserskim skeniranjem. V gradbeništvu jih uporabljajo za številne namene, tudi za natančen zajem geometrijskih podatkov za izvedbo statičnih analiz, za izračun volumnov ter za umestitev novih objektov v prostor. Z njimi je mogoče izdelati BIM-modele, ki se uporabljajo pri projektiranju, kar je še posebej dobrodošlo pri starejših objektih in objektih kulturne dediščine. Oblaki točk omogočajo tudi kontrolo odstopanj pri izvedbi od projektiranega stanja, dokumentiranje izvedenega in tudi obstoječega stanja objektov ter kontrolo deformacij konstrukcij. So vsestransko uporabni, tehnologija in oprema za zajem oblakov točk pa postaja vse bolj dostopna. Tudi programska oprema omogoča vse več možnosti za obdelavo oblakov točk, več možnosti njihove uporabe pa bo omogočila še umetna inteligenca.



Fotografije: Anže Petkovšek in arhiv GBC Slovenija



Več informacij: dr. Iztok Kamenski, predsednik UO GBC Slovenija, M: 041 716 845,
E: info@gbc-slovenia.si; W: www.gbc-slovenia.si

FOTOREPORTAŽA FARMA CVEN – MONTAŽNA AB SKELETNA KONSTRUKCIJA



Slika 1. Dvig primarnega dvokapnega prednapetega nosilca z razpetino 32 m.

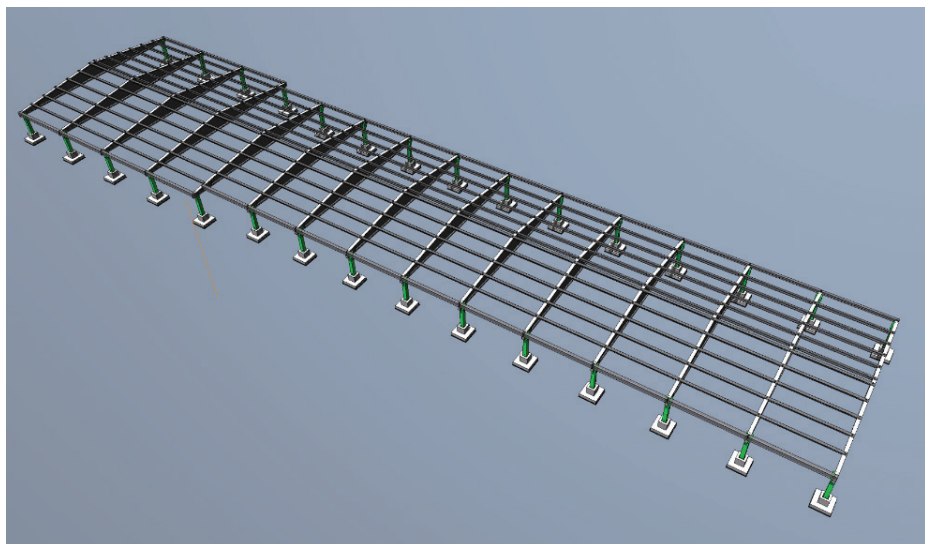
Lokacija: Cven pri Ljutomeru

Investitor: Ljutomerčan, d. o. o.

Projektant gradbenih konstrukcij: Pomgrad, d. d.

Izvajalec: Pomgrad, d. d. – DE ABI Lipovci

Montažna AB skeletna konstrukcija je zasnovana v pravokotni obliki z dimenzijami 32,0 m v širino in 139,5 m v dolžino. Stebri so višine 3,65 m. Razpon primarnega dvokapnega prednapetega nosilca je 32 m (30,50 m + 0,75 m dvostranskega napušča), višina v temenu je 2,92 m, sekundarni nosilci pa imajo razpetino 10,55 m. Za omenjeni objekt smo v delovni enoti Lipovci sprojektirali, izdelali in zmontirali 271 armiranobetonskih (v nadaljevanju AB) elementov, od tega 30 kom AB-člaš, 30 kom AB-stebrov, 15 kom dvokapnih prednapetih nosilcev, 168 kom sekundarnih AB-nosilcev in 28 kom robnih AB-nosilcev.



Slika 2. Vizualizacija montažne AB skeletne konstrukcije.



Slika 3. Vgrajena AB-člaš v peto temelja in montažni AB-steber.



Slika 4. Transport primarnega dvokapnega prednapetega nosilca z izrednim prevozom.



Slika 5. Montaža primarnega dvokapnega prednapetega nosilca na montažne AB-stebre.



Slika 6. Montaža sekundarnih nosilcev na primarne dvokapne nosilce.



Slika 7. Naleganje robnega in sekundarnega nosilca na primarni dvokapni nosilec. Primarni nosilec nalega na steber.

Novozgrajeni objekt površine približno 4500 m² bo namenjen za sodobno prašičerejo.

Fotografije: Jure Tikvič, Milan Marič in Peter Mencingar (Pomgrad, d. d.)

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO IN GEODEZIJO

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO

Neja Fazarinc, Spletna aplikacija za učenje dinamičnega odziva enostavne konstrukcije, mentor prof. dr. Matjaž Dolšek, somentor doc. dr. Robert Klinc;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137738>

Martin Ferjan, Izdelava interaktivnega pripomočka za razumevanje bioklimatskih ukrepov za pasivno solarno ogrevanje, mentor izr. prof. dr. Mitja Košir, somentor asist. dr. Luka Pajek;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137735>

Tina Glasnovič, Sprejemljivost posameznih ukrepov energijske prenove večstanovanjske stavbe med stanovalci, mentor doc. dr. Jure Kokalj, somentor asist. dr. Luka Pajek;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137634>

Tjaša Volčjak, Vpliv zasnove odprtín v stavbnem ovoju na osvetljenost prostorov in pojav bleščanja, mentor izr. prof. dr. Mitja Košir, somentor asist. Jaka Potočnik;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137638>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRADBENIŠTVO (smeri Gradbene konstrukcije, Geotehnika-hidrotehnika, Nizke gradnje)

Jani Cerar, Vpliv temperature vgrajenih vroče valjanih asfaltnih plasti na zgoščenost, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura, somentor viš. pred. dr. Robert Rijavec;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137736>

Lenart Hostnik, Optimizacija koncesijskih območij vzdrževanja državnih cest, mentor izr. prof. dr. Marijan Žura;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137737>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM STAVBARSTVO

Matic Možina, Podnebne spremembe in nevarnost pregrevanja v brunarici: primerjava pasivnih ukrepov hlajenja z umerjenim modelom, mentor izr. prof. dr. Mitja Košir, somentorja asist. dr. Luka Pajek in dr. Manoj Kumar Singh;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137636>

II. STOPNJA – MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM VODARSTVO IN OKOLJSKO INŽENIRSTVO

Urška Maček, Ocena uporabnosti metod neposrednih padavin za določanje območij poplavljanja, mentor doc. dr. Simon Rusjan, somentor viš. pred. dr. Jošt Sodnik;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137448>

Borut Mavc, Ureditev odvajanja in čiščenja odpadnih voda na območju Velike planine, mentor doc. dr. Mario Krzyk;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137447>

Magdalena Tasevska, Vpliv potresnih in valovnih obremenitev na likvifikcijo – študija primera Amantea (Kalabrija, Italija), mentor izr. prof. dr. Dušan Žagar, somentor doc. dr. Paolo Zimmaro;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137331>

III. STOPNJA – DOKTORSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM GRAJENO OKOLJE

Matej Radinja, Avtomatizirano modeliranje in načrtovanje ukrepov za obvladovanje padavinskih voda v urbanih območjih, mentorica izr. prof. dr. Nataša Atanasova, somentor izr. prof. dr. Sašo Džeroski;
<https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=137365>

NOVI DIPLOMANTI GRADBENIŠTVA

UNIVERZA V MARIBORU, FAKULTETA ZA GRADBENIŠTVO, PROMETNO INŽENIRSTVO IN ARHITEKTURO – EKONOMSKO POSLOVNA FAKULTETA

INTERDISCIPLINARNI ŠTUDIJ GOSPODARSKEGA INŽENIRSTVA – SMER GRADBENIŠTVO

I. STOPNJA – UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM

Katja Šemen, zaključek študija brez zaključnega dela

Andrej Kapeloto, zaključek študija brez zaključnega dela

Rubriko ureja **Eva Okorn**, gradb.zveza@siol.net

2.-5.9.2022

ICCUE 2022 - 9th International Conference on Civil and Urban Engineering
Peking, Kitajska
www.iccue.org/

5.-7.9.2022

17th Danube - European Conference on Geotechnical Engineering
Bukarešta, Romunija
<https://sites.google.com/view/17decgero/home>

9.-10.9.2022

Sajam graditeljstva, opremanja i zaštite okoliša
Zagreb, Hrvatska
<https://dgiz.hr/>

12.-15.9.2022

EUROCK 2022 — Rock and Fracture Mechanics in Rock Engineering and Mining
Espoo, Finska
www.eurock2022.com

13.-17.9.2022

ICOSSAR 2021-2022, 13th International Conference on Structural Safety & Reliability
Spletna konferenca
www.icossar2021.org

15.-17.9.2022

ICSCE 2022 — 6th International Conference on Structural and Civil Engineering
Barcelona, Španija
www.icsce.org

28.-29.9.2022

4. gradbeno - prostorsko - okoljska konferenca
Ljubljana, Slovenija
<https://gradbeno-prostorsko-okoljska-konferenca.si/>

29.-30.9.2022

S.ARCH 2.0 — 9th International Conference on Architecture and Built Environment
Spletna konferenca
www.s-arch.net/s-arch-2-0

13.-14.10.2022

43. zborovanje gradbenih konstruktorjev Slovenije
Kulturni center Rogaška Slatina, Slovenija
www.sdggk.si

24.-26.10.2022

ICCEFA'22 - 3rd International Conference on Civil Engineering Fundamentals and Applications
Spletna konferenca
Seul, Južna Koreja
<https://iccefa.com>

26.-28.10.2022

ICBSTS 2022 — 3rd International Conference on Building Science, Technology and Sustainability
Lizbona, Portugalska
www.icbsts.org

4.-6.4.2023

S.ARCHBERLIN — 10th International Conference on Architecture and Built Environment
Berlin, Nemčija
www.s-arch.net/s-arch-berlin

29.-31.5.2023

15th Underground Construction Prague 2023
Praga, Češka
www.ucprague.com/

7.-9.6.2023

17th Danube - European Conference on Geotechnical Engineering
Bukarešta, Romunija
<https://17decge.ro/>

25.-28.6.2023

9ICEG - 9th International Congress on Environmental Geotechnics
Hania, Kreta, Grčija
www.iceg2022.org

17.-21.9.2023

12 ICG - 12th International Conference on Geosynthetics
Rim, Italija
www.12icg-roma.org

14.-17.11.2023

WLF6 - 6th World Landslide Forum
Firenze, Italija
<https://wlf6.org/>

Rubriko ureja **Eva Okorn**, ki sprejema predloge za objavo na e-naslov: gradb.zveza@siol.net