

De inhoud van deze publicatie heeft betrekking op de ontwerp (DIS) versie van ISO 9612 uit 2007.
Op details wijkt de definitieve versie hiervan af.
Gebruik altijd de definitieve en laatste versie van de norm.

Beoordeling van onzekerheden volgens ISO/DIS 9612 - 2007

ing. Michiel van Eeden
Technisch bureau van Eeden

Evaluation of measurement uncertainties in ISO/DIS 9612 - 2007

Abstract

ISO/DIS 9612 – 2007 describes three strategies to determine the exposure to harmful noise in workplaces. CEN intends to accept it as a European standard which means that the Dutch standard on this subject, NEN 3418, will have to be withdrawn in near future. This paper presents the approach described in ISO/DIS 9612 to evaluate the uncertainties of the three different strategies. The goal of this paper is to give an example on how the GUM [1] is applied in an ISO standard regarding noise measurement.

The Dutch standard NEN 3418 only contains the so-called task-based strategy, a method that gives maximum information about the contributions of different activities to the daily noise exposure. In case this task-based approach is not feasible, NEN 3418 mentions alternatives without giving any guidance.

ISO/DIS 9612 describes the task-based strategy, and does give two alternative strategies using dosimetry during several full days or by choosing random samples. Guidelines for selection and application of the strategies are given. A normative annex describes the calculations of uncertainties. A spreadsheet is offered to help the users to perform uncertainties calculations.

1. Introductie

Sinds 1992 kennen we in Nederland NEN 3418 en 3419, thans samengevoegd in NEN 3418, ter beoordeling van schadelijk geluid op werkplek. Het doel van de norm is om de geluidvoorschriften van het arbeidsomstandighedenbesluit op verantwoorde en uniforme wijze te toetsen. Vanaf januari 2006 moeten de wettelijke actie- en grenswaarden voor geluid op de arbeidsplaats worden beoordeeld aan de hand van het daggemiddelde (het equivalente geluidniveau voor een hele werkdag: $L_{EX,8h}$) en de piekwaarden (L_{Cpiek}). ISO/DIS 9612 behandelt in hoofdzaak de bepaling van het daggemiddelde en de daaraan gerelateerde onzekerheid.

2. Context

2.1 Beoordelingsgrootheid

De gemiddelde dagelijkse blootstelling aan geluid, $L_{EX,8h}$, in het vervolg van dit artikel aangeduid met de dagdosis, is per definitie het equivalente geluidniveau van een werkdag genormeerd naar een werkdag van 8 uur, zoals gedefinieerd in ISO 1999:

$$L_{EX,8h} = L_{pAeq,T_e} + 10 \lg \left[\frac{T_e}{T_0} \right] \text{ dB} \quad (1)$$

Daarin is L_{pAeq,T_e} het equivalente geluidniveau over een werkdag met duur T_e , en T_0 is gelijk aan 8 uur. In NEN 3418 wordt de dagdosis met $L_{EX,T}$ aangeduid.

2.2 Huidige NEN 3418

NEN 3418 (aanvankelijk NEN 3419) beschrijft een methode, gebaseerd op LA-HR-07-01, waarbij de dagdosis wordt berekend aan de hand van een werkzaamhedeninventarisatie en geluidmetingen per werkzaamheid, in feite de berekening van de blootstelling aan geluid voor een hypothetische werkdag. Per groep van gelijk blootgestelde werknemers resulteert dat in een tabel waarin de werkzaamheden zijn opgesomd met de bijbehorende bijdrage aan de dagdosis, en de logaritmische som hiervan: de dagdosis zelf. De norm geeft aanwijzingen die enige waarborg bieden voor de representativiteit van metingen. In de versie van 1992 werd gesteld dat de te verwachten onzekerheid van de beschreven methode 3 dB bedraagt, hetgeen neerkwam op een ‘educated guess’.

2.3 Huidige ISO 9612

De huidige versie van ISO 9612 (1997) is ook Nederlands aanvaard maar nooit toegepast; wetgever en arbeidsinspectie verwijzen naar NEN 3418.

ISO 9612 (1997) gaat uit van het meten van het geluidniveau gedurende een volle werkdag, of delen daarvan. Concrete aanwijzingen om bij het meten korter dan een dag tot een representatief resultaat te komen ontbreken. Er is wel een informatieve bijlage opgenomen die de beoordeling van meetonzekerheid behandelt.

2.4 Europese richtlijn

Richtlijn 2003/44/EG, door publicatie in staatsblad 56 van januari 2006 (letterlijk) omgezet in Nederlandse wetgeving, geeft actie- en grenswaarden voor blootstelling aan schadelijk geluid op het werk en geeft aanwijzingen voor beoordeling daarvan. Het bevat ook de volgende zin: “Bij de beoordeling van de meetresultaten wordt rekening gehouden met de meetonzekerheden, die zijn vastgesteld volgens de bij het meten gangbare praktijk”. De richtlijn laat overigens in het midden of bij toetsing aan actie- of grenswaarden de meetonzekerheid bij het meetresultaat moet worden opgeteld.

Daarnaast is in 2003 in CEN verband afgesproken dat bij te ontwikkelen of te reviseren normen, waar mogelijk, aandacht gegeven wordt aan meetonzekerheden.

Eén en ander was aanleiding tot herziening van ISO 9612, met aandacht voor onzekerheden.

3. Drie strategieën van ISO/DIS 9612

3.1 Algemeen

De voorliggende ontwerpnorm bevat drie methoden om de dagdosis te bepalen en een normatieve bijlage die de beoordeling van meetonzekerheden behandelt.

Task-based measurement:	werkzaamhedeninventarisatie en meting per werkzaamheid
Job-based measurement:	meting van random samples van werkzaamheden
Full day measurement:	meting gedurende (meerder) hele dagen

De norm geeft aanwijzingen voor de selectie van de meest geschikte methode al naar gelang de variatie en indeling van het werk. In alle gevallen wordt begonnen met een werkzaamhedeninventarisatie. Deze is nodig voor de keuze tussen de drie methoden en kan later, eventueel na verfijning, dienen als basis voor de task-based aanpak. De drie strategieën worden hier zeer beknopt beschreven om vervolgens nader op de berekening van de onzekerheden in te gaan.

3.2 Task-based measurement

In essentie is dit de methode die we kennen van NEN 3418 zoals globaal beschreven in paragraaf 2.2. Per werkzaamheid (task) wordt aan de hand van een aantal metingen een gemiddelde blootstelling en de experimentele standaardafwijking daarin bepaald:

$$L_{pAeq,T,m} = 10 \lg \left(\frac{1}{I} \sum_{i=1}^I 10^{0,1 \times L_{pAeq,t_i}} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

Met L_{pAeq,t_i} : resultaten van de verschillende samples en $L_{pAeq,T,m}$: geluidniveau per werkzaamheid. Vervolgens wordt de werkzaamheid tijdgewogen:

$$L_{EX,8h,m} = 10 \lg \left(\frac{T_m}{T_0} 10^{0,1 \times L_{pAeq,T,m}} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

Met $L_{EX,8h,m}$: tijdgewogen equivalent geluidniveau per werkzaamheid, in NEN 3418 aangeduid met $L_{EX,t}$. De dagdosis bedraagt dan:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left(\sum_{m=1}^M \frac{T_m}{T_0} 10^{0,1 \times L_{pAeq,T,m}} \right) \text{ dB} \quad (4)$$

ISO 9612 2007 bevat aanwijzingen die enige waarborgen inhouden voor de representativiteit van de metingen. Als task-based measurement niet uitvoerbaar is, bijvoorbeeld bij een te grote variatie in werkzaamheden, dan zijn er de volgende alternatieven:

3.3 Job-based measurement

Bij deze methode worden willekeurige samples van gelijke tijdsduur genomen. Er worden aanwijzingen gegeven over het minimaal aantal samples en de minimale totale meetduur, afhankelijk van het aantal blootgestelde binnen de groep met gelijk blootgestelden. De geldigheid van de metingen moet worden gecontroleerd door de vergrote meetonzekerheid U te berekenen; deze mag niet hoger zijn dan 6 dB.

3.4 Full day measurement

Zoals de naam al aangeeft worden enkele hele dagen gemeten, om te beginnen minimaal 3. Als het verschil in gemeten blootstelling tussen deze dagen groter is dan 5 dB moeten aanvullende metingen worden uitgevoerd. De aanwijzingen over de geldigheid van de metingen is (nog) niet helemaal helder en een toetsing aan de berekende onzekerheid zoals bij de job-based strategie ontbreekt.

3.5 Berekening dagdosis voor job-based en full day measurement

Omdat voor zowel de job-based, als voor de full day measurement samples van gelijke lengte worden gemeten geldt voor het geluidniveau van de werkdag:

$$L_{pAeq,T_e} = 10 \lg \left(\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N 10^{0,1 \times L_{pAeq,T,n}} \right) \text{ dB} \quad (5)$$

Met: $L_{pAeq,T,n}$: geluidniveau van sample n . De dagdosis wordt vervolgens berekend door te normeren naar een nominale werkdag met formule 1.

4 Meetonzekerheden

4.1 Algemeen

De belangrijkste bronnen van onzekerheden zijn:

- a) Variatie in werkzaamheden en omstandigheden
- b) Instrumentatie en kalibratie
- c) Microfoonpositie
- d) Bijdagen van wind, tikken tegen microfoon e.d.
- e) Onvolkomenheden in werkzaamheden analyse
- f) Bijdagen door afwijkend gedrag van de onderzochte persoon

In het algemeen zullen de onzekerheden die voortvloeiend uit a) en e) het grootste zijn. Deze zijn moeilijk te kwantificeren en moeten vooral voorkomen worden door een zorgvuldige analyse van de werkzaamheden en door nauwkeurige observatie bij uitvoering van de metingen. Bij toepassing van job-based en full day measurement vindt achteraf enige controle plaats door berekening van de onzekerheid. Bij toepassing van task-based measurement kunnen in principe grote fouten worden gemaakt in de werkzaamhedenanalyse en bij de meting c.q. keuze van de werkzaamheden. Deze komen niet, of slechts ten dele, tot uiting bij de berekening van de onzekerheden. In alle gevallen is een zorgvuldige aanpak een absolute voorwaarde. Variaties in werkzaamheden worden in sommige gevallen in hoge mate door gedrag, en soms zelfs door bijvoorbeeld seizoen of conjunctuur bepaald. Het moge duidelijk zijn dat de onzekerheden samenhangend met dit soort invloeden moeilijk te bepalen zijn.

De methode voor bepaling van de onzekerheden van ISO/DIS 9612 houdt rekening met de factoren a), b) en c). Er wordt aangenomen dat de factoren d), e) en f) kunnen worden verwaarloosd omdat een minimale zorgvuldigheid wordt geëist en dat, voor zover deze factoren toch een rol spelen, dit terug komt in de berekening van de onzekerheid die samenhangt met sampling van taak, job of dag.

Tabel 1: Bronnen van onzekerheid per methode en het voor de standaard onzekerheid gebruikt symbool

Bron	Symbool	Task-based	Job-based	Full day
Keuze taak	$u_{1a,m}$	X		
Duur taak	$u_{1b,m}$	X		
Keuze job of dag	u_1		X	X
Instrumentatie	u_2	X	X	X
Microfoonpositie	u_3	X	X	X

In het algemeen geldt voor de gecombineerde standaard meetonzekerheid u :

$$u^2 = \sum c_i^2 u_i^2 \quad (6)$$

Met: u_i : standaard meetonzekerheid die samenhangt met onzekerheidsbron i en c_i : de gevoeligheidsfactor die samenhangt met onzekerheidsbron i .

De totale meetonzekerheid U wordt berekend door de gecombineerde standaard meetonzekerheid u te vermenigvuldigen met de dekkingsfactor k :

$$U = k u \quad (7)$$

Voor achtergronden bij formules 6 en 7 wordt verwezen naar de desbetreffende papers van deze themadag.

4.2 Task based measurement

Uitgaande van het bovenstaande wordt de onzekerheid in de berekening van de dagdosis aan de hand van task-based measurement berekend met:

$$u^2(L_{EX,8h}) = \left(\sum_{m=1}^M \left[c_{1a,m}^2 (u_{1a,m}^2 + u_2^2 + u_3^2) + (c_{1b,m} u_{1b,m})^2 \right] \right) \quad (8)$$

met:

- $u_{1a,m}$: standaard onzekerheid samenhangend met meting van taak m ;
- $u_{1b,m}$: standaard onzekerheid samenhangend met lengte van taak m ;
- u_2 : standaard onzekerheid in verband met gebruikte meetinstrument;
- u_3 : standaard onzekerheid in verband met gebruikte microfoonpositie;
- $c_{1a,m}$ en $c_{1b,m}$: corresponderende gevoeligheidsfactoren.

In het eerste lid van de sommatie in formule 8 zien we de gecombineerde standaard onzekerheid die samenhangt met de bepaling van het geluidniveau van taak m , in het tweede lid de standaard onzekerheid die samenhangt met de bepaling van tijdsduur van taak m .

De gevoeligheidsfactoren die samenhangen met de bepaling van het geluidniveau zijn aan elkaar gelijk omdat er een lineair verband wordt verondersteld tussen de gemeten en de geschatte waarde van het geluidniveau.

De standaard onzekerheden worden als volgt bepaald:

u_3 is volgens de standaard gelijk aan 1 dB;

u_2 is gelijk aan 0,5 bij gebruik van een klasse 1 instrument en 1,0 bij gebruik van een klasse 2 instrument;

$u_{1a,m}$ is de berekende standaarddeviatie van de verschillende meetresultaten van taak m ;

$u_{1b,m}$ zou bepaald moeten worden aan de hand van standaarddeviatie van de gemeten duur van taak m .

In de praktijk zal de spreiding in de duur van de taak niet worden gemeten en de spreiding in de meettijden heeft in de regel geen verband met de spreiding van de duur van de werkzaamheid over de verschillende werkdagen. Ook in het geluidniveau van de werkzaamheid van dag tot dag treedt een grote spreiding optreden maar deze spreiding kan tot op zekere hoogte binnen een meetsessie worden geïnventariseerd. Een beoordeling van de spreiding in de duur van een werkzaamheid zou bijvoorbeeld door een enquête achterhaald kunnen worden. Dit is m.i. nog een verbeterpunt.

De gevoeligheidsfactoren $c_{1a,m}$ en $c_{1b,m}$ worden bepaald met de volgende formules:

$$c_{1a,m} = \frac{T_m}{T_0} 10^{\frac{L_{pAeq,Tm}^* - L_{EX,8h}}{10}} \quad (9)$$

en

$$c_{1b,m} = 4,34 \times \frac{c_{1a,m}}{T_m} \quad (10)$$

met:

$L_{pAeq,Tm}^*$: schatting van geluidniveau per werkzaamheid, dit is gelijk aan de met formule 2 bepaalde waarde zonder rekening te houden met de meetonzekerheden;

T_m , gemiddelde duur van de werkzaamheid (task).

4.3 Job-based en full day measurement

Voor job-based en full day measurement geldt dezelfde formule voor bepaling van de onzekerheid, de wijze van sampling in deze als gelijkwaardig beschouwd:

$$u^2(L_{EX,8h}) = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 (u_2^2 + u_3^2) \quad (11)$$

met:

u_2 en u_3 : onzekerheden samenhangend met resp. instrumentatie en microfoonpositie;

c_2 : de corresponderende gevoeligheidsfactor (met aanname dat $c_2 = c_3$);

$c_1 u_1$: de onzekerheid in de sampling.

Bovengenoemde factoren worden als volgt bepaald:

u_2 en u_3 zijn gelijk aan de waarden voor task-based measurement als opgegeven in paragraaf 4.2.

$c_2 = 1$

$c_1 u_1$ wordt bepaald aan de hand van het aantal samples en de berekende standaarddeviatie in deze samples met behulp van onderstaande tabel.

Tabel 2: de standaard onzekerheid $c_1 u_1$ als functie van de uit de metingen bepaalde onzekerheid u_1 en het aantal genomen samples voor job-based en full day measurement.

N	Standard uncertainty u_1 of measured values $L_{pAeq,T,n}$											
	in dB											
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
3	0,6	1,6	3,1	5,2	8,0	11,5	15,7	20,6	26,1	32,2	39,0	46,5
4	0,4	0,9	1,6	2,5	3,6	5,0	6,7	8,6	10,9	13,4	16,1	19,2
5	0,3	0,7	1,2	1,7	2,4	3,3	4,4	5,6	6,9	8,5	10,2	12,1
6	0,3	0,6	0,9	1,4	1,9	2,6	3,3	4,2	5,2	6,3	7,6	8,9
7	0,2	0,5	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4,3	5,1	6,1	7,2
8	0,2	0,5	0,7	1,1	1,4	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4	5,2	6,1
9	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3	1,7	2,1	2,6	3,2	3,9	4,6	5,4
10	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	1,5	1,9	2,4	2,9	3,5	4,1	4,8
12	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,7	2,0	2,5	2,9	3,5	4,0
14	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	3,5
16	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,6	2,0	2,3	2,7	3,2
18	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	2,1	2,5	2,9
20	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,3	2,6
25	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3
30	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0

Bij de tabel staat de aanbeveling om het meetplan te herzien als $c_1 u_1 \geq 3,5$ dB. Dat is m.i. beter op zijn plaats bij de aanwijzingen over uitvoering van de metingen.

5 Hulpmiddel

Een lid van de commissie die de revisie van ISO 9612 heeft verzorgd heeft een Excel spreadsheet gemaakt die alle benodigde berekeningen van alle drie de strategieën uitvoert inclusief de berekening van de onzekerheden.

6 Conclusies

Onzekerheden moeten in de eerste plaats worden voorkomen door zorgvuldige aanpak.

ISO/DIS 9612 geeft goede aanwijzingen om met dosimeters op representatieve wijze metingen uit te voeren (job-based en full day measurement). De berekening van de meetonzekerheid is voor deze strategieën niet moeilijk. Dit voorziet beslist in een behoefte; hiervoor bestonden nog geen duidelijke richtlijnen.

De berekeningen van de onzekerheden als gepresenteerd in ISO/DIS 9612 lijken moeilijker dan ze zijn. Het aangeboden rekenblad biedt bovendien ondersteuning. Daarentegen schuilt er gevaar in het toepassen van de spreadsheet indien de gebruiker onvoldoende begrip heeft van de onderliggende beginselen.

De bepaling van de standaarddeviatie in de tijdsduur van een werkzaamheid (task-based measurement) is een zwak punt. Nadere aanwijzingen zijn gewenst.

Aanvulling middels een NPR wordt overwogen. Hierin kunnen aan bod komen: relatie met regelgeving (beslissingsschema's); verrekenen effect gehoorbescherming; mogelijk nadere aanwijzingen voorbepaling van de spreiding in T_m .

Literatuur

1. ISO Guide (1995) Guide to the expression of uncertainty in measurement.

De onderzoekers L. Thiéry en M.Grzebyk hebben op het terrein van meetonzekerheden bij beoordeling van geluid op de werkplek meerdere publicaties op hun naam staan.