

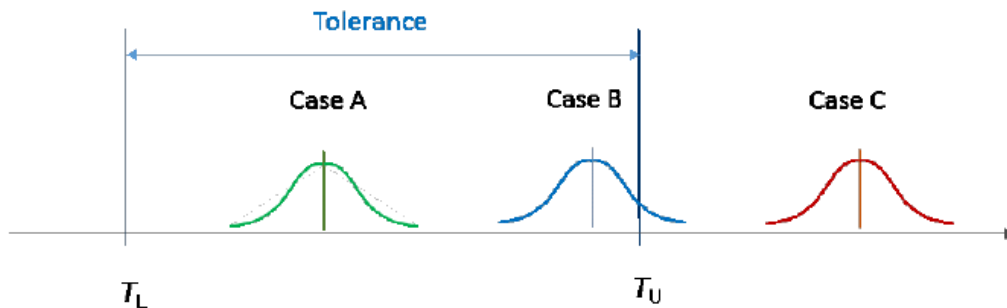
Правила одлучивања која се примењују за оцену усаглашености

1. Увод

Оцењивање усаглашености је уобичајена активност која се обавља у тестирању, инспекцији и калибрацији, која је потребна да би се осигурала усклађеност производа, материјала, услуга и система са захтевима дефинисаним стандардима, прописима и законским оквирима, који се дефинишу да би се успоставило поверење потрошача и безбедност и квалитет живота. Оцењивање усклађености данас има велики утицај на глобалну економију, јер подразумева прихватање и одбијање производа са директним утицајем на анализу ризика, пословне одлуке, репутацију и финансијске трошкове.

За успостављање процедура у циљу оцењивања усклађености у практичним ситуацијама (нпр. усклађеност с метричким толеранцијама) потребни су објективни критеријуми у такозваним “правилима одлучивања”, која су намењена дефинисању граница “зоне усклађености” и, узимајући у обзир пробабилистички приступ, “зона прихватљивости” (резултати мерења, укључујући и несигурност, који се сматрају прихватљивим). Конвенционални приступ правила одлучивања заснован је на поређењу појединачних или интервала граница усклађености са појединачним резултатима мерења, што је типично правило одлучивања директно добијено из неједнакости ових поређења. Недавни развој пробабилистичког приступа у мерењу, увођењем мерне несигурности као параметра за изражавање варијабилности мерења, имао је значајан утицај у процесу одлучивања, будући да подразумева потребу да се узме у обзир поређење кроз пробабилистички приступ.

Слика 1 приказује три могуће ситуације резултата мерења и њихове несигурности унутар интервала усклађености на које треба применити правило одлучивања. На Сlici 1 можемо рећи да је случај А јасно као “у складу”, случај Ц је “неусклађен”, али у случају Б имамо недефинисану ситуацију за коју треба применити формални критеријум заснован на очекиваном интервалу поверења, да се одлучи о његовој усклађености.



Слика 1 - Приказ три различита резултата мерења и интервала толеранције

Приступ коришћен у овом документу се заснива на претпоставци да је несигурност мерења представљена Gauss-ovom функцијом расподеле вероватноће (*Probability distribution function, PDF*), која је конзистентна са типичним резултатима мерења (претпоставља се применљивост централне граничне теореме (*Central Limit Theorem*)).

2 - Процена ризика и грешке типа I и типа II

Приликом оцењивања усаглашености, постоје вероватноће везане за две врсте погрешних одлука, једну за добављача (α) и једну за потрошача (β), дефинисане као проценат ризика (процедура израчунавања према [JCGM 106: 2012]). У овом оквиру, матрица одлука се може изразити помоћу:

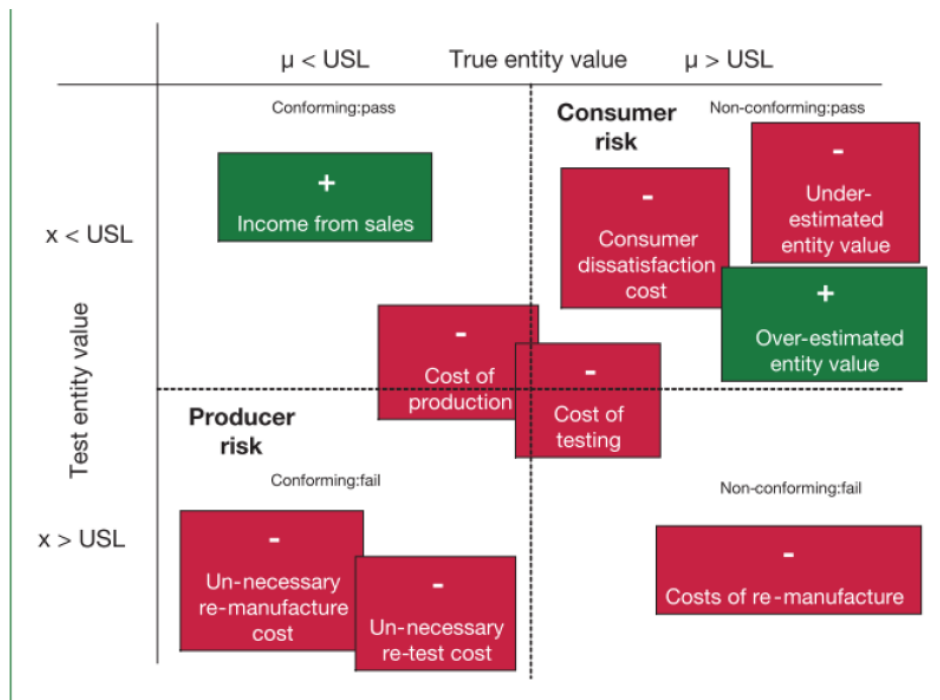
$$P = \begin{bmatrix} (1 - \alpha) & \alpha \\ \beta & (1 - \beta) \end{bmatrix}$$

где се вероватноће доношења исправних одлука налазе у дијагоналним елементима ($1 - \alpha$) и ($1 - \beta$), а ризици погрешних одлука у ван-дијагоналним елементима α и β . Ове грешке су такође познате као грешке типа I (α) и типа II (β), што редом значи да су усаглашени производи погрешно одбачени или да су неусаглашени производи погрешно прихваћени. Табела 1 показује још један уобичајен приказ ових грешака, њихове вероватноће и однос према одлуци.

Табела 1 - Вероватноће процене усаглашености у вези са исправном или погрешном одлуком

	Одлука	
	Прихватање H_0	Одбијање H_0
H_0 (тачна)	Исправна одлука	Грешка типа I (α)
H_0 (погрешна)	Грешка типа II (β)	Исправна одлука

Обе погрешне одлуке изражене са α и β подразумевају трошкове и економски ризик, као што је приказано у [Pendrill, 2007] и приказано на слици 2 (прилагођено наведеној референци). Ова слика има за циљ да прикаже перспективу добављача у вези са приходима и трошковима услед оцењивања усаглашености (зелена боја – профит, црвена боја – губици).



Слика 2 - Приходи и трошкови снабдевача због усаглашености (прилагођено из [Pendrill, 2007])

3 - Општи приступ поступку оцењивања усаглашености

За исправно дефинисање правила одлучивања одлучујуће је питање шта треба доказати оцењивањем усклађености: усклађеност или неусклађеност са спецификацијом или граничном вредношћу. На основу одговора, мора се специфицирати ризик по добављача (α) или ризик по потрошача (β).

Дефинисање поступка за оцењивање усаглашености може се заснивати на следећим корацима:

- а. Спецификација мерене величине (Y) и предмета испитивања који треба тестирати.
- б. Експериментални / аналитички резултати (процене у мерене величине Y).
- ц. Стандардна несигурност мерења, $u(y)$, и за одређени ниво поузданости, проширена несигурност (за познати ниво поузданости потребно је узети у обзир k фактор, нпр. за Gauss-ов узорак, обично се користи $k = 2,00$ за интервал поузданости од 95%).
- д. Спецификација једне границе толеранције (горње или доње) или граница интервала толеранције.
- е. Дефиниција зоне прихватања, зоне одбацивања и заштитног појаса уз претпоставку вероватноће грешке типа I (ризик добављача α) или грешке типа II (ризик потрошача β).
- ф. Правило одлучивања

Терминологија коришћена у овом водичу је у складу са дефиницијама представљеним у [EURACHEM Guide: 2007] и заснована је на [ASME B89.7.3.1: 2001].

Правило одлучивања: документовано правило које описује како ће се користити мерна несигурност у циљу прихватања или одбацавања производа у складу са његовом спецификацијом и резултатом мерења.

Зона прихватања: скуп вредности карактеристике, за одређени процес мерења и правило одлучивања, који резултује прихватањем производа када је резултат мерења унутар те зоне.

Зона одбацавања: скуп вредности карактеристике, за одређени процес мерења и правило одлучивања, који ће резултовати одбацавањем производа када је резултат мерења унутар те зоне.

Заштитни појас: величина помака од границе спецификације до границе зоне прихватања или одбијања

Грешка типа I (α) = вероватноћа да је испитани узорак усаглашен, иако је добијено неусаглашено мерење (лажно негативан)

Грешка типа II (β) = вероватноћа да је испитивани узорак неусаглашен, чак и ако је добијено усаглашено мерење (лажно позитиван)



Слика 3а) - Пример подручја за интервал толеранције како би се минимизовао ризик потрошача

Легенда: T_U - Горња граница толеранције; G_U - горња граница зоне прихватања; T_L - доња граница толеранције; G_L - доња граница зоне прихватања; $U(y)$ - проширена несигурност мерења.



Слика 3б) - Пример подручја за интервал толеранције како би се ризик добављача свео на минимум

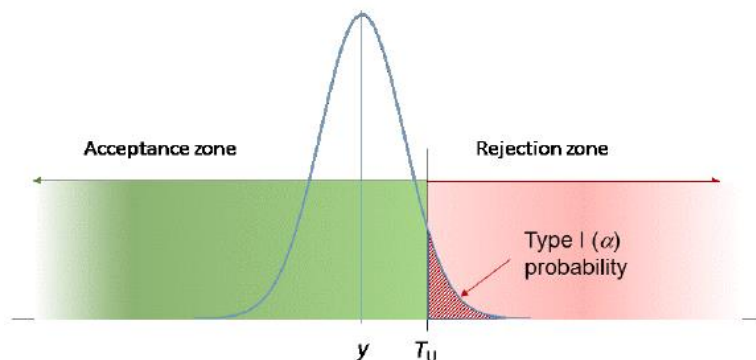
Слика 3а) је пример дефинисања зоне прихватања како би се минимизовао ризик потрошача (β). У другим случајевима важно је минимизовати ризик добављача (α), нпр. у вези одбијања у продаји између предузећа (*business-to-business sale*) (нпр. ISO 14253-1: 1998] или у судским предметима због кршења граничних вредности. Овај приступ је приказан на слици 3б). Док су у првом случају заштитни појасеви унутар зоне толеранције, у другом случају они су изван зоне толеранције. Тако је на слици 3а) фокус на високој поузданости исправног прихватања (чуваног прихватања), док је на слици 3б) фокус на високој поузданости исправног одбијања (чувано одбијање).

За случајеве који користе заштитне појасеве, нарочито погодне за резултате мерења са фиксном несигурношћу, једноставна стратегија за успостављање правила одлучивања је да се упореде резултати мерења са границама зоне прихватања, који се сматрају усаглашеним (прихваћеним) ако је измерена вредност унутар зона и неусаглашеним (одбијени) у супротном.

Ако резултати мерења могу имати променљиве вредности несигурности, препоручује се другачији приступ без разматрања заштитних појасева, који захтева приступ идеално заснован на дефиницији тест хипотезе као подршке правилу одлучивања.

4 - Правило одлучивања примењено на оцењивање усаглашености са једном границом толеранције без заштитног појаса

Када је постављена једна, горња граница толеранције, T_U и процена мерења у са стандардном мерном несигурношћу $u(y)$, правило одлучивања треба да дефинише вероватноћу усаглашености (*Probability of conformity*, P_C) уз претпоставку вероватноће грешке типа I (α).



Слика 4 - Пример са само једном, горњом границом толеранције

Правило одлучивања:

Прихватање ако је хипотеза H_0 : $P(Y \leq T_U) \geq (1 - \alpha)$ истинита;

Одбацивање ако је хипотеза H_0 лажна, $P(Y \leq T_U) < (1 - \alpha)$.

$$\frac{T_U - y}{u(y)}$$

Израз за тестирање: $P_C = P(\eta \leq T_U) = \Phi\left(\frac{T_U - y}{u(y)}\right)$

Пример:

Размотримо процену мерене величине $y = 2,7$ mm са стандардном несигурношћу $u(y) = 0,2$ mm, у односу на јединствену горњу границу толеранције $T_U = 3,0$ mm и спецификацију усаглашености $(1 - \alpha)$ од 0,95 (95%), претпостављајући грешку типа I $\alpha = 0,05$ (5%).

Са експерименталним резултатом и границом толеранције, уз претпоставку Гаусове функције расподеле вероватноће правило одлучивања ће бити:

Прихватање ако је хипотеза $H_0: P(Y \leq 3,0 \text{ mm}) \geq (1 - \alpha)$ истинита

За процену вероватноће повезане са датим примером, вероватноћа усаглашености (P_C) се израчунава коришћењем општег израза Гаусове функције расподеле вероватноће:

$$P_C = P(\eta \leq T_U) = \Phi\left(\frac{T_U - y}{u(y)}\right)$$

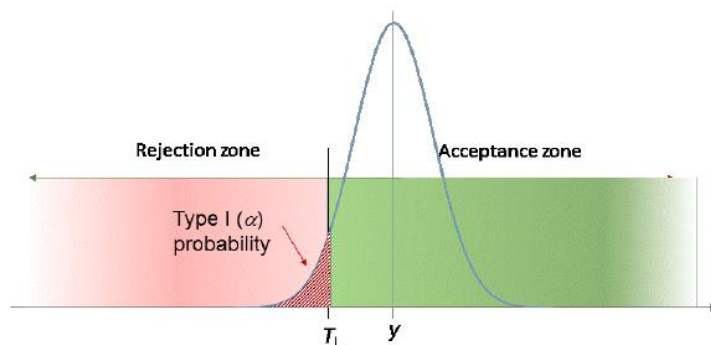
$$P_C = \Phi\left(\frac{3,0 - 2,7}{0,2}\right) = \Phi(1,5) \approx 0,933 \text{ (93,3 \%)} < 0,95$$

Тада је хипотеза H_0 лажна и одлука је неусаглашеност.

Напомена: Вредност $\Phi(z)$ се може добити коришћењем табела стандардне нормалне функције расподеле вероватноће или софтвера који има функције за извршавање ове врсте прорачуна, нпр.:

MS Ексел функција NORMDIST (x , средња вредност, стандардна девијација, кумулативна); за овај случај, NORMDIST (3,0; 2,7; 0,2; TRUE) би дао резултат (0,933).

На сличан начин, када је дефинисана једна, доња границу толеранције, T_L , и доступна је процена мерења y са стандардном мерном несигурношћу $u(y)$, правило одлучивања треба да дефинише вероватноћу усаглашености (*Probability of conformity*, P_C) уз претпоставку вероватноће грешке типа I (α).



Слика 5 - Пример са само једном, доњом границом толеранције

Правило одлучивања:

Прихватање ако је хипотеза $H_0: P(Y \geq T_L) \geq (1 - \alpha)$ истинита;

Одбацивање ако је хипотеза H_0 лажна, $P(Y \geq T_U) < (1 - \alpha)$.

Израз за тестирање: $P_C = P(\eta \geq T_L) = 1 - P(\eta \leq T_L) = 1 - \Phi\left(\frac{T_L - y}{u(y)}\right) = \Phi\left(\frac{y - T_L}{u(y)}\right)$

Пример:

Размотримо процену мерене величине $y = 0,012$ g са стандардном несигурношћу $u(y) = 0,001$ g, у односу на доњу границу толеранције $T_L = 0,010$ g, и спецификацију усаглашености $(1 - \alpha)$ од 0,99 (99%), тако претпостављајући грешку типа I $\alpha = 0,01$ (1%).

Са експерименталним резултатом и границом толеранције, уз претпоставку Гаусове функције расподеле вероватноће правило одлучивања ће бити:

Прихватање ако је хипотеза $H_0: P(Y \geq 0,010g) \geq 0,99$ истинита.

За процену вероватноће повезане са датим примером, вероватноћа усаглашености (P_C) се израчунава коришћењем општег израза Гаусове функције расподеле вероватноће:

$$P_C = \Phi\left(\frac{y-T_L}{u(y)}\right)$$

$$P_C = \Phi\left(\frac{0,012-0,010}{0,001}\right) = \Phi(2,0) \approx 0,977 \text{ (97,7 \%)} < 0,99$$

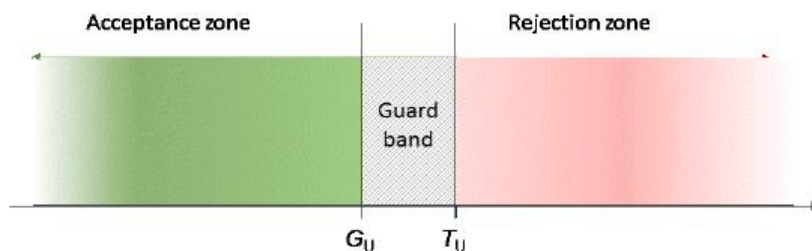
Тада је хипотеза H_0 лажна и одлука је неусаглашеност.

Напомена: Вредност $\Phi(z)$ се може добити коришћењем табела стандардне нормалне функције расподеле вероватноће или софтвера који има функције за извршавање ове врсте прорачуна, нпр .:

MS Ексел функција NORMDIST (x, средња вредност, стандардна девијација, кумулативна); за овај случај, NORMDIST (0,012; 0,010; 0,002; TRUE) би дао резултат (0,977).

5 - Правило одлучивања за оцену усаглашености са јединственом границом толеранције и заштитним појасом

У случају да су процене мерења, y , добијене са познатом стандардном несигурношћу $u(y)$, правило одлучивања се може успоставити узимајући у обзир заштитни појас, који омогућава прихватање процене мерења директним упоређивањем са интервалом прихватања.



Слика 6 - Заштитни појас између зоне прихватања и зоне одбијања за јединствену горњу границу толеранције

За случај јединствене горње границе толеранције, T_U , са познатом стандардном несигурношћу, $u(y)$, и вероватноћом грешке типа I (α), горња граница заштитног појаса може се добити употребом дефиниције Gauss-ове функције расподеле вероватноће (*PDF*):

$$\Phi\left(\frac{T_U - y}{u(y)}\right) = 1 - \alpha$$

$$\left(\frac{T_U - y}{u(y)}\right) = \Phi^{-1}(1 - \alpha)$$

$$G_U = y = T_U - u(y) \cdot [\Phi^{-1}(1 - \alpha)]$$

Пример:

Размотримо процену мерене величине $y = 18,9 \text{ }^\circ\text{C}$ са стандардном несигурношћу $u(y) = 0,3^\circ\text{C}$, у односу на доњу границу толеранције $T_L = 20,0^\circ\text{C}$ и спецификацију усаглашености $(1 - \alpha)$ од 0,95 (95%), претпостављајући грешку типа I $\alpha = 0,05$ (5%).

За израчунавање горње границе заштитног појаса може се користити једначина:

$$G_U = 20 - 0,3 \cdot [\Phi^{-1}(0,95)] = 20 - 0,3 \cdot 1,64 \approx 19,5^\circ\text{C}.$$

Тада је хипотеза H_0 лажна и одлука је неусаглашеност.

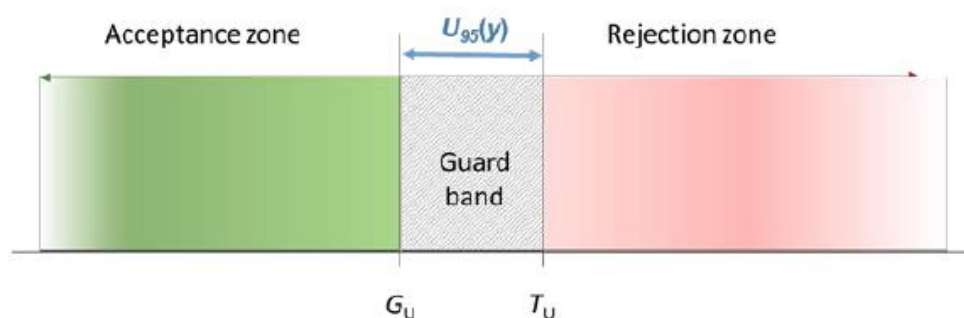
Напомена: Вредност $\Phi^{-1}(1 - \alpha)$ се може добити коришћењем табела критичних вредности нормалне расподеле функције вероватноће или софтвера који има функције за извођење овог типа прорачуна, нпр:

MS Ексел функција NORMINV (вероватноћа; средња вредност; стандардна девијација); за овај случај NORMINV (0,95; 0; 1) би дао резултат (1,64).

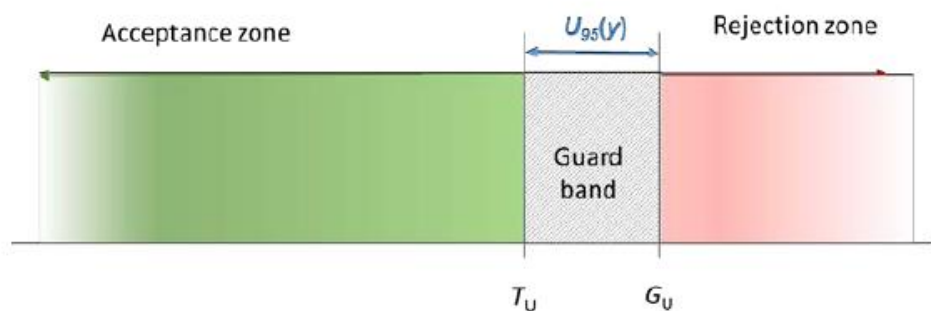
Уобичајена пракса је да се процени проширена несигурност за интервал поузданости који се штити и употреби директно за дефинисање горње границе заштитног појаса; у случају 95% интервала поверења и коришћењем претходног примера,

$$U_{95}(y) = k_{95} \cdot u(y) = 2,00 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$G_U = T_U - U_{95}(y) = 20,0 - 0,6 = 19,4 \text{ }^\circ\text{C}$$



Слика 7а - Заштитни појас за горњу границу толеранције и заштићено прихватање дефинисано са проширеном несигурношћу од 95%



Слика 7 б) Заштитни појас за горњу границу толеранције и заштићено одбацавање

У случају заштићеног одбијања G_U је дат изразом:

$$G_U = y = T_U + u(y) \cdot [\Phi^{-1}(1 - \alpha)]$$

Пример [JCGM 106: 2012]:

За проверу ограничења брзине, брзина возила се може мерити помоћу Доплер радара. Ово мерење се може извршити са релативном стандардном несигурношћу $u(v) / v$ од 2% у интервалу 50 km/h до 150 km/h.

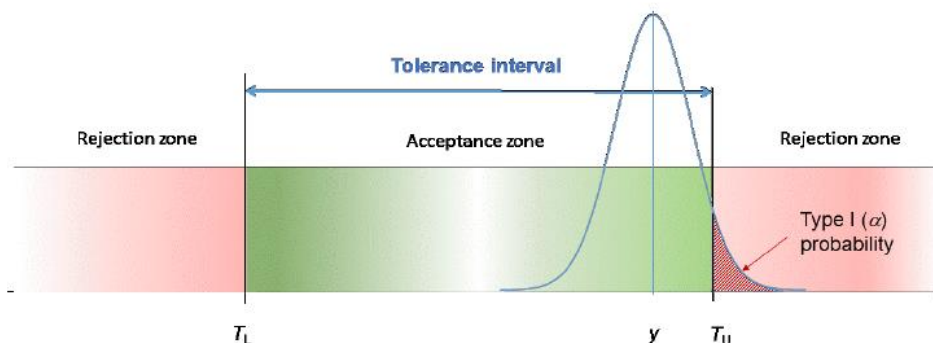
Ограничење брзине на моторном путу може бити постављено на 100 km/h. Због принципа “*in dubio pro reo*” (латински за “када се сумња, за оптуженог”) користи се ниво значајности $(1 - \alpha) = 0,999$.

$$G_U = y = 100 + 2 \cdot [\Phi^{-1}(0,999)] = 100 + 2 \cdot 3,09 \approx 107 \text{ km/h}$$

Тако је заштитни појас $[100 \text{ km/h} \leq v \leq 107 \text{ km/h}]$. Ако је измерена вредност 107 km/h или већа, вероватноћа да је ограничење брзине прекорачено је најмање 99,9%.

6 - Правило одлучивања за оцену усаглашености са интервалом толеранције без заштитног појаса

У односу на интервал толеранције дефинисан доњом границом, T_L , и горњом границом, T_U , и процену мерења са стандардном мерном несигурношћу $u(y)$, правило одлучивања треба да дефинише вероватноћу усаглашености (P_C) уз претпоставку вероватноће грешке типа I (α).



Слика 8 - Пример интервала толеранције

Правило одлучивања:

Прихватање ако је хипотеза $H_0: P(T_L \leq Y \leq T_U) \geq (1 - \alpha)$ истинита;

Одбацивање ако је хипотеза H_0 лажна, $P(T_L \leq Y \leq T_U) < (1 - \alpha)$.

$$\frac{T_U - y}{u(y)} \quad \frac{T_L - y}{u(y)}$$

Израз за тестирање: $P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi\left(\frac{T_U - y}{u(y)}\right) - \Phi\left(\frac{T_L - y}{u(y)}\right)$

Пример:

Размотримо процену мерене величине $y = 23,5$ kN са стандардном несигурношћу $u(y) = 0,5$ kN, у односу на интервал толеранције од [22 kN, 25 kN] и спецификацију усаглашености $(1 - \alpha)$ од 0,95 (95%), чиме се претпоставља грешка типа I $\alpha = 0,05$ (5%).

Са експерименталним резултатом и интервалом толеранције, уз претпоставку Гаусове функције расподеле вероватноће правило одлучивања ће бити:

Прихватање ако је хипотеза $H_0: P(22 \leq Y \leq 25) \geq 0,95$ истинита.

За процену вероватноће повезане са датим примером, вероватноћа усаглашености (P_C) се израчунава коришћењем општег изрази Гаусове функције расподеле вероватноће:

$$\frac{T_U - y}{u(y)} \quad \frac{T_L - y}{u(y)}$$

$P_C = P(T_L \leq \eta \leq T_U) = \Phi\left(\frac{T_U - y}{u(y)}\right) - \Phi\left(\frac{T_L - y}{u(y)}\right)$

$$\frac{25 - 23,5}{0,5} \quad \frac{22 - 23,5}{0,5}$$

$P_C = \Phi\left(\frac{25 - 23,5}{0,5}\right) - \Phi\left(\frac{22 - 23,5}{0,5}\right) = \Phi(3,0) - \Phi(-3,0) = 0,9987 - 0,0013 \approx 0,997$ (99,7%) > 0,95

Тада је хипотеза H_0 истинита и одлука је усаглашеност.

7 - Правило одлучивања за оцену усаглашености са интервалом толеранције и заштитним појасом

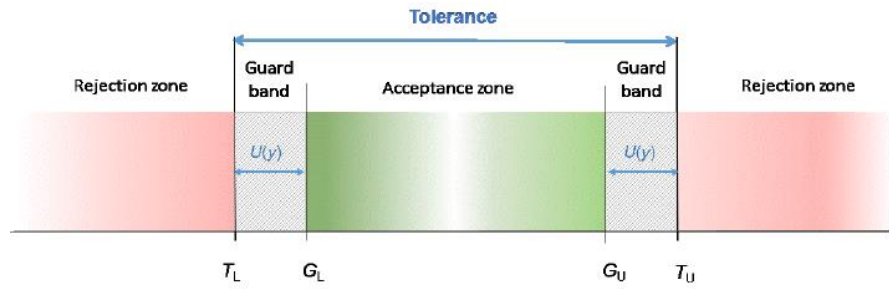
Оцењивање усаглашености које се примењује на интервал толеранције такође се може спровести коришћењем заштитних појасева у случају када су добијене процене мерења y , са познатом стандардном несигурношћу, $u(y)$.

У овом случају, границе заштитног појаса за ниво поузданости $(1 - \alpha)$ могу се добити узимајући у обзир симетричну грешку $\alpha / 2$ на сваком репу расподеле функције вероватноће. Уобичајени приступ усвојен за заштићено прихватање је да се узме у обзир:

$$G_U = T_U - U(y)$$

$$G_L = T_L + U(Y)$$

са проширеном несигурношћу $U(y)$ добијеном за $(1 - \alpha)$ ниво поузданости.



Слика 9 - Пример заштитног појаса примењеног на интервал толеранције

За заштићено одбијање заштитни појасеви се могу израчунати према:

$$G_U = T_U + U(y)$$

$$G_L = T_L - U(Y)$$