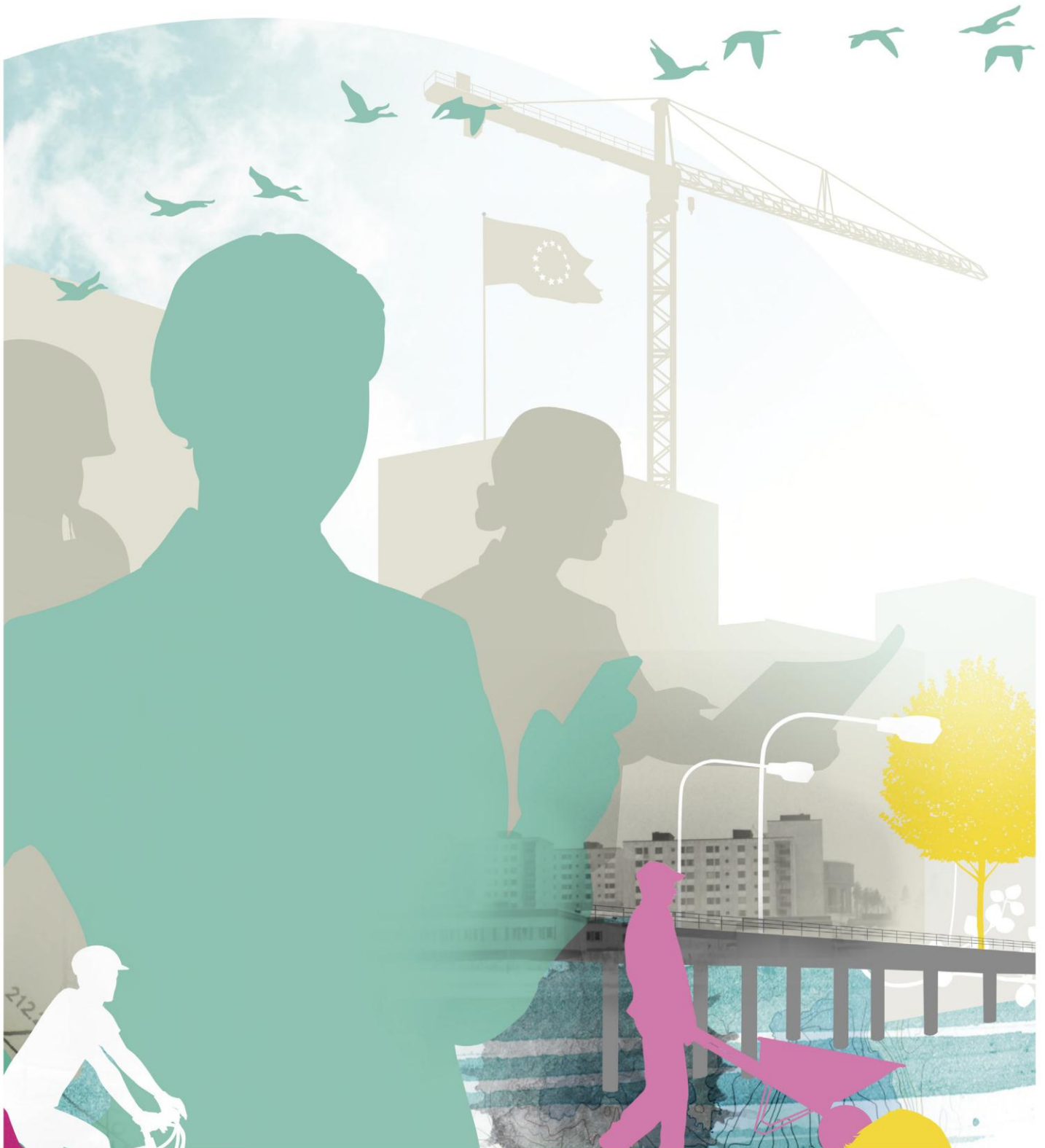




Innemiljö i nytt ljus: Metoder för objektiv bedömning av belysning



Innemiljö i nytt ljus

Metoder för objektiv bedömning av belysning

Magdalena Boork, RISE Research Institutes of Sweden

Karin Wendin, RISE Research Institutes of Sweden

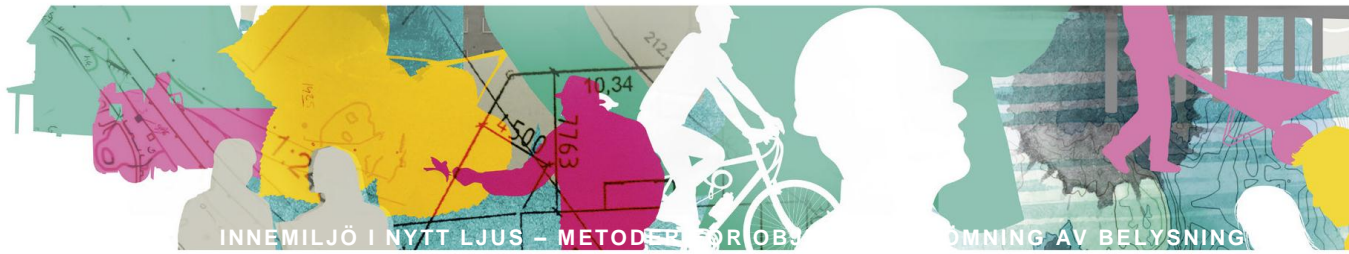
Johan Nordén, RISE Research Institutes of Sweden

Maria Nilsson Tengelin, RISE Research Institutes of Sweden



Energimyndighetens projektnummer: 39707-1

E2B2



Förord

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggtreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknik konsulter, arkitekter et-cetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Innemiljö i nytt ljus: Metoder för objektiv bedömning av belysning är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut och har genomförts i samverkan med Thorn Lighting.

Belysningen står för en betydande del av energianvändningen och just nu pågår ett teknikskifte mot belysning som är mycket mer energieffektiv. Att få fler att välja sådan ny teknik är en viktig fråga för energiomställningen och besparingen i elanvändning kan vara så stor som 50 procent. Projektet har resulterat i metoder för objektiv belysningsbedömning med hjälp av en analytisk panel som tränats i att beskriva och bedöma upplevelsen av belysning.

Stockholm, 20 februari 2017

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Tekniskt-Naturvetenskapliga Universitet i Trondheim, Norge

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

Nuvarande belysningsstandarder baseras enbart på tekniska krav, såsom ljusstyrka, jämnhet och luminans. Att även inkludera upplevelsebaserade krav skulle troligen främja bättre ljuskomfort, men även mer energieffektiva ljusmiljöer och produkter. Kunskapen om hur upplevda belysningsparametrar kan beskrivas är dock begränsad. Detta hämmar fastighetsägare och brukare att precisera önskvärda ljusmiljöer, liksom belysningstillverkare att utveckla produkter för nya marknader och tillämpningar. Syftet med detta forskningsprojekt var att utveckla och tillämpa sensoriska metoder på belysning. Till skillnad från tidigare metoder möjliggör sensoriska metoder objektiva bedömningar av upplevda belysningsparametrar.

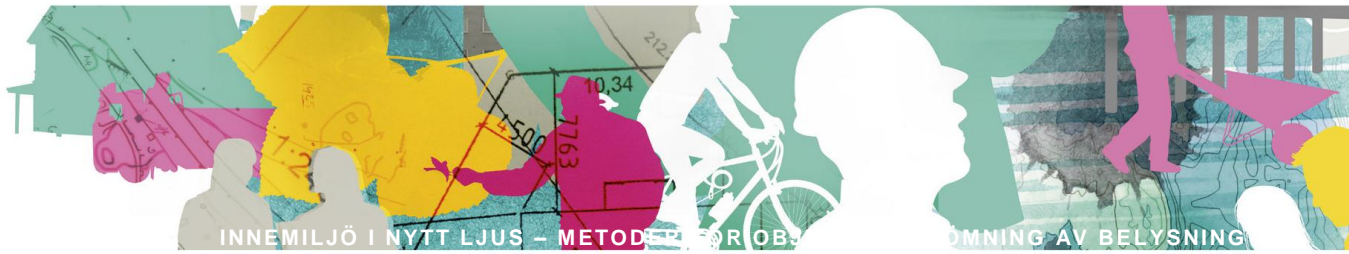
En analytisk panel bestående av åtta personer som uppfyller särskilda urvalskriterier rekryterades och tränades att bedöma belysningsprodukter i ett multisensoriskt laboratorium på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås. Metodutvecklingen fokuserade särskilt på en effektiv träningsprocedur, hantering av ögats adaptation, samt bedömning av färg och skuggningar. Förutom laboratorieförsök undersöktes möjligheten att genomföra analytiska bedömningar i en verklig kontext med samma försöksupställning och panel.

Resultaten visar att det är möjligt att använda sensorisk metodik för att genomföra objektiva belysningsbedömningar av armaturer; paneldeltagarna kunde skilja mellan attribut och prover. Signifikanta skillnader identifierades mellan de olika armaturerna, både i form av sensoriska och fysikaliska egenskaper såsom läsbarhet och bländning. Fysikaliska och sensoriska parametrar samvarierar dock inte alltid, vilket visar att fysikaliska och sensoriska mätningar ger kompletterande information om belysningskvalitet. Vidare visade bedömningsförsök i en verklig kontext att samma resultat uppnåddes som i laboratoriet, men med lägre signifikans, vilket verifierar metodens tillämpbarhet på belysning.

Den genererade kunskapen väntas på sikt bidra till utveckling av verktyg som stödjer kommunikationen mellan olika professioner inom ljusdesign och planering och på så vis främja mer önskvärda och energieffektiva ljusmiljöer.

Ett informationsblad som ger en kortfattad guide till metoden återfinns i Bilaga 3.

Nyckelord: belysningsbedömning, upplevelse, sensorisk analys, tränad analytisk panel, objektiv bedömning, ljuskvalitet



Summary

Current standards for lit environments are solely based on technical requirements, e.g. brightness, uniformity and luminance. Including experience-related requirements would most likely promote better lighting comfort as well as more energy efficient lit environments and lighting products. However, lack of knowledge on how to describe perceived lighting parameters hampers users and building owners in specifying desired lit environments and for lighting manufacturers to develop products for new markets. The aim of this research project was to apply and develop sensory methods for lighting. In contrast to previous methods for subjective lighting assessment sensory methods enable objective assessment of perceived lighting parameters.

An analytical panel comprising eight persons fulfilling specific selection criteria were recruited and trained to assess lighting products in a multi-sensory laboratory at SP Technical Research Institute in Borås. During the development special emphasis has been given to improvements of the training procedure, handling the adaptation of the eye, and assessment of colour and shading. Besides laboratory assessments, the feasibility of analytical assessment in a real context was examined. The same experimental set up and panel was used.

The results show that it is possible to apply sensory methods to lighting to objectively assess luminaires; the panellists were able to distinguishing between attributes and samples. Significant differences were identified between the different luminaires, both in terms of sensory and physical properties, e.g. readability and glare. However, physical and sensory parameters do not always covary, which shows that physical and sensory measuring methods provide complementary information about the lighting quality. Furthermore, assessment in a real context provided the same, but less significant, results as in the laboratory.

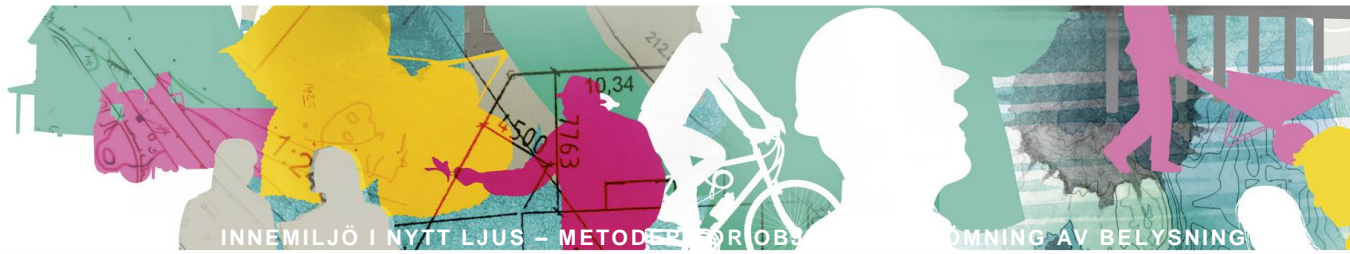
In the future, the knowledge may be applied in tools supporting the communication between different professions in lighting design and procurement to promote more desirable and energy efficient lit environments.

Keywords: *lighting assessment, experience, sensory analysis, trained sensory panel, objective assessment, lighting quality*

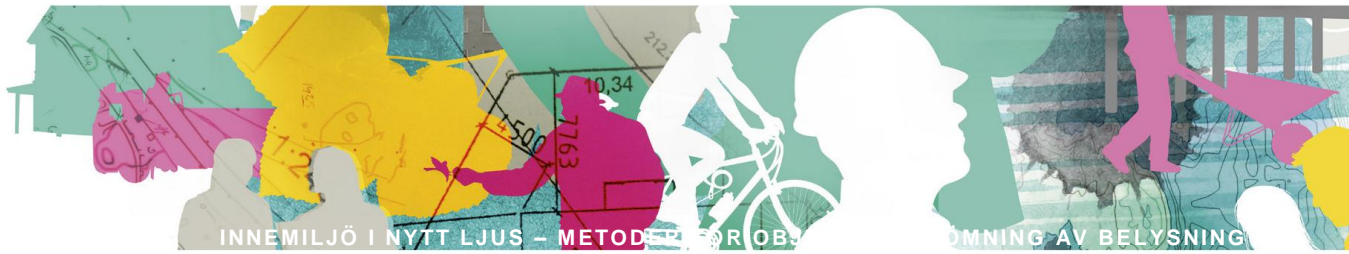


INNEHÅLL

1	BAKGRUND	8
1.1	SENSORISK ANALYS AV PRODUKTER	9
2	GENOMFÖRANDE	11
2.1	TILLÄMPNING AV SENSORISKA METODER PÅ BELYSNING	11
2.1.1	UTRUSTNING AV FÖRSÖKSBÅS FÖR BELYSNINGSBEDÖMNINGAR	11
2.1.2	URVALSKRITERIER	13
2.1.3	DEN ANALYTISKA PANELEN	14
2.1.4	TRÄNING OCH KALIBRERING	14
2.1.5	ANALYTISKA BEDÖMNINGAR	15
2.2	FÖRSÖKSDESIGN	16
2.3	FYSIKALISKA MÄTNINGAR	20
2.4	TILLÄMPNING AV METODEN I VERKLIG KONTEXT	20
2.5	KONSUMENTTESTER	23
2.6	DATABEARBETNING OCH ANALYS	24
3	RESULTAT	25
3.1	SENSORISKA RESULTAT	25
3.2	FYSIKALISKA MÄTNINGAR	27
3.3	KORRELATIONER MELLAN SENSORISKA OCH FYSIKALISKA PARAMETRAR	29
3.4	SENSORISKA BEDÖMNINGAR I VERKLIG KONTEXT	31
3.5	KONSUMENTUNDERSÖKNING	34
4	DISKUSSION	37
4.1	INSIKTER SENSORISK BELYSNINGSBEDÖMNING	37
4.2	ENERGIRELEVANS	38
4.3	SAMHÄLLSRELEVANS OCH FRAMTIDA ARBETE	39
5	SLUTSATSER	41
6	PUBLIKATIONSLISTA	42
7	REFERENSER	44



BILAGA 1: GENOMFÖRDA REFERENSGRUPPSMÖTEN OCH WORKSHOP	46
REFERENSGRUPPSMÖTE 1	46
REFERENSGRUPPSMÖTE 2	47
REFERENSGRUPPSMÖTE 3	47
SLUTWORKSHOP	48
BILAGA 2: BEDÖMNINGSFORMULÄR BELYSNING	51
BILAGA 3: INFORMATIONSBLAD MED KORTFATTAD GUIDE TILL METODEN	52



1 Bakgrund

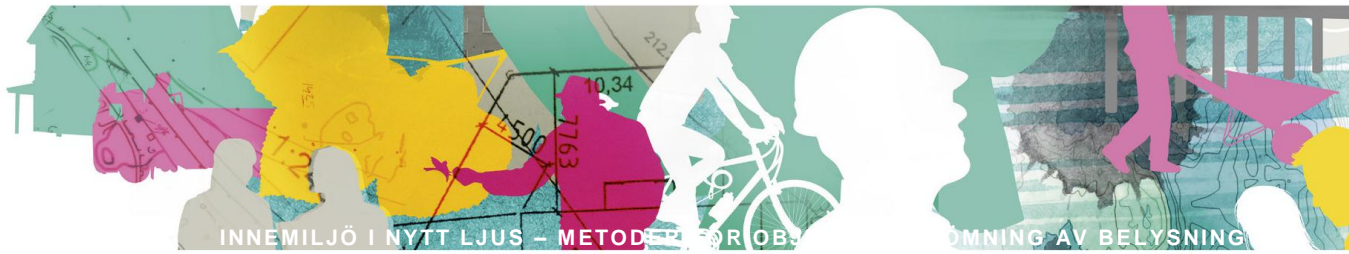
Utvecklingen och introduktionen av energieffektiv belysning har varit betydande under de senaste decennierna. Både EUs energimärkning och ekodesigndirektivet har haft en väsentlig inverkan på energianvändningen för belysningsprodukter. I Sverige startade en stegvis utfasning av glödlampan 2009, vilken kommer att följas av skärpta krav även på halogenlampor (Europeiska kommissionen, 2009). Sverige står därmed mitt i ett skifte till mer energieffektiv belysning.

Glödljuskällor har en effektivitet på ca 10 lumen per Watt (lm/W) och lågenergislampor ca 65 lm/W. USA:s Department of Energy, som årligen publicerar prognoser för utvecklingen av lysdioder, förutspår att lysdioderna år 2020 kommer att ha en verkningsgrad på ca 230 lm/W (EERE, 2014). Potentialen för energibesparing är därmed betydande, för kontorslokaler minst 50 % (Dubois och Blomsterberg, 2011). Byte till LED-armaturer eller LED-ljuskällor leder dock ofta till försämrad komfort. När konsumenter tillfrågas vill de i stor utsträckning behålla sina glödljusarmaturer då dessa upplevs ge en hög komfort. För att motivera ägare, förvaltare och brukare att genomföra en omställning till mer energieffektiv belysning krävs därför att inte bara energivinster kan påvisas, utan också att upplevelserna av ljusmiljö och ljuskomfort är positiva.

Vid utveckling av ny belysning, beställning av nya ljusmiljöer, liksom vid kommunikation mellan belysningsbranschen och konsumenter används konventionella mått på belysningens kvalitet, såsom ljusstyrka, jämnhet och luminans. I stor utsträckning lever kvalitetsmått som relaterar till ljuskällans effekt (tex "motsvarar en 60 W glödlampa") kvar, trots att dessa inte är relevanta med modern, energieffektiv teknik. För att uppnå en bättre ljusmiljö är även aspekter som kopplar till upplevelsen relevanta (se t ex Galasiu och Veitch, 2006), men idag saknas både begrepp, kunskap och verktyg kring detta.

Individer har olika behov och preferenser, vilket gör det svårt att ställa allmängiltiga krav på belysning (Säter, 2001). Det enda etablerade verktyg som finns tillhands för att beskriva ljus kvalitet idag är de internationella belysningsstandarderna (EN12464-1, SIS (2011)). De är baserade på fotometriska mått och utgår främst från detaljseendets behov av höga ljusnivåer. Moderna belysningsarmaturer är optimerade för låg energianvändning samtidigt som de uppfyller de tekniska krav som beskrivs i EN 12464 med så få armaturer som möjligt per rum. Alltför stort fokus på de tekniska lösningarna tenderar dock att åsidosätta belysningens visuella kvaliteter, men även att resultera i överdimensionerade belysningsanläggningar. Resultatet kan bli att lösningar med låg acceptans hos användarna.

Under 2014 uppfördes ett multisensoriskt laboratorium på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås. Tidigare har SP främst arbetat med sensorisk utvärdering av livsmedelsprodukter, men med det nya laboratoriet skapades



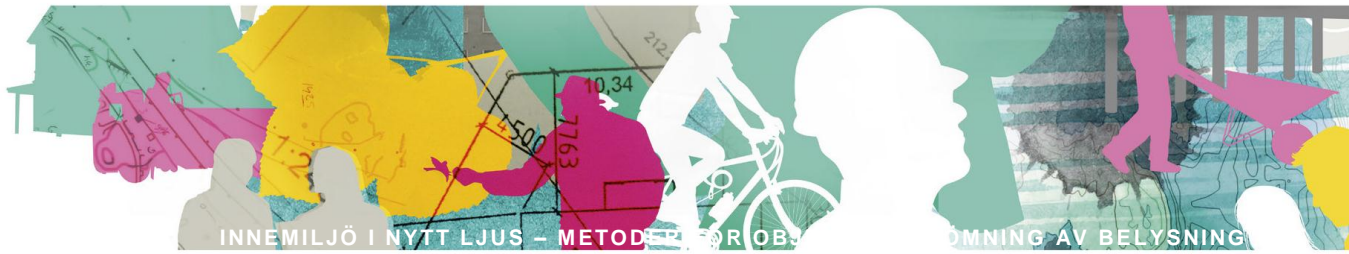
möjligheter för sensorisk analys av olika typer av produkter med hjälp av tränade paneler. En förstudie kring belysningsbedömning pekade på potentialen att applicera sensoriska metoder på belysning i syfte att objektivt mäta upplevda belysningsegenskaper (Nordén m.fl., 2015). Sensoriska belysningsbedömningar bidrar till ökad kunskap kring hur människor upplever belysning och ljuskvalitet, samt hur dessa kan mätas, men kan också identifiera vilka belysningsegenskaper som är viktigast för att nå ökad acceptans. Sensoriska mätningar kompletterar traditionella fysikaliska ljusmätningar.

Syftet med det projekt som presenteras i denna rapport var att utveckla sensoriska metoder för objektiva belysningsbedömningar samt att undersöka metodernas tillämplighet inom belysningsområdet. Sådana metoder avser att stödja belysningsbranschen i utvecklingen av attraktiva energieffektiva produkter och system, liksom belysningsbeställare att uppnå ljusmiljöer som är både energieffektiva och skapar en god ljuskomfort. Metodutvecklingen baseras på etablerade sensoriska metoder för utvärdering av produkter, vilka tidigare inte har använts på belysning.

1.1 Sensorisk analys av produkter

Människan har så länge det har funnits utbud av varor och tjänster bedömt dessa med hjälp av sina sinnen. Den vetenskapliga disciplinen sensorisk analys definierades 1974 av Sidel och Stone (Stone och Sidel, 2004). Inom sensoriken mäter, analyserar och tolkar man reaktioner på egenskaper hos varor, produkter och tjänster som de upplevs med de mänskliga sinnena: syn, lukt, smak, känsel och hörsel. Sensorisk analys innefattar både kvalitativa och kvantitativa angreppssätt, samt mätning med både konsumenter som ger subjektiva omdömen och tränade bedömare som gör objektiva bedömningar. Disciplinen utgör i dagsläget en unik och viktig del inom ett fåtal branscher, men skulle kunna appliceras på bred front inom de flesta branscher som sysslar med produkt- och tjänstutveckling, kvalitetskontroll och marknadsföring. En bransch som kommit långt är livsmedelsbranschen där man huvudsakligen förlitar sig på analyser av produkter med hjälp av lukt- och smaksinnena. Förutom inom livsmedelsbranschen används sensoriska metoder bland annat inom bilindustrin, se Giboreau m.fl. (2001), och förpackningsindustrin, där exempelvis TetraPak har ett eget sensoriskt laboratorium. Därtill finns exempel på studier där sensoriska paneler använts för att bedöma lukter från byggnadsmaterial (Knudsen m.fl., 2007) och kvalitet på inomhusluft (Kolarik och Toftum, 2012).

Tränade bedömare, en så kallad analytisk panel utgör ett mätinstrument för objektiv bedömning av produkters egenskaper. Den består därför av personer som är lämpliga att utföra bedömningen, bland annat genom väl utvecklade sinnen för de parametrar som ska bedömas (Albinsson m.fl., 2013). Den objektiva bedömningen inkluderar ingen form av subjektiv värdering av produkten, utan parametrarna bedöms enligt en skala som är gemensam för samtliga paneldeltagare. En vanlig metod inom analytisk sensorisk utvärdering är



Qualitative Descriptive Analysis, QDA (Stone och Sidel, 2004; Lawless och Heymann, 2010), där resultaten analyseras genom statistiska metoder, variansanalys (ANOVA) och Principal Component Analysis (PCA) (Lawless och Heymann, 2010). Fysikaliska mätningar tillhandahåller kompletterande data till den statistiska analysen. Data kan även sammankopplas med konsumentundersökningar för att identifiera vilka av produktens parametrar som styr kundnöjdheten.



2 Genomförande

Metodutvecklingen tog sin utgångspunkt i en förstudie kring sensorisk belysningsbedömning som genomfördes på SP under 2014 (se Nordén m.fl., 2015). Projektet har främst fokuserat på utveckling av metoder för objektiv belysningsbedömning i laboratorium, men försök har även genomförts i en verklig kontext. Dessutom har ett mindre konsumenttest utförts. De olika stegen i att applicera sensorisk metodik på belysning, inklusive utrustning av ett multisensoriskt laboratorium, återfinns i detta kapitel.

Projektet har i sin helhet genomförts av SP med stöd av en referensgrupp. Referensgruppen har både haft en proaktiv och reaktiv roll och bidragit med värdefull kunskap och erfarenheter från belysningsbranschens perspektiv, sensorikområdet, samt belysningsforskning kopplat till upplevelse. Under projektperioden har totalt tre referensgruppsmöten genomförts. Deras innehåll och hur de har bidragit till projektet beskrivs i Bilaga 1. Även projektets slutworkshop beskrivs i Bilaga 1.

2.1 Tillämpning av sensoriska metoder på belysning

Sensoriska metoder har tidigare inte tillämpats inom belysningsområdet. I detta avsnitt beskrivs de olika momenten för att anpassa bedömningsmetodik till belysning samt genomförandet av bedömningar. Både metodutveckling och laboratorieförsök genomfördes vid det multisensoriska laboratoriet vid SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut i Borås under 2015 och 2016.

2.1.1 Utrustning av försöksbås för belysningsbedömningar

Sensoriska analytiska bedömningar med tränade paneler görs avskilt i så kallade båsar. Vid traditionella sensoriska bedömningar av exempelvis livsmedel är paneldeltagarna avskärmade från varandra, men komplett isolering av respektive båsar är inte nödvändig. För att möjliggöra belysningsbedömningar krävs dock att ljusstörningar från såväl omgivande rum som närliggande båsar elimineras. Båsen har i sitt grundutförande tre väggar, men är öppna bakåt. Inför belysningsförsöken kompletterades därför båsen i det multisensoriska laboratoriet med ogenomskinliga draperier som fästs på båsens väggar och tak på ett sådant sätt att ljus inte släpps in i eller ut ur båsen, se vänster bild i Figur 1. I den högra bilden ses en tydlig skillnad mellan produkter med olika färgtemperatur då draperierna har dragits åt sidan. Draperierna är fördragna när paneldeltagarna stiger in i laboratoriet och hålls fördragna under hela bedömningsprocessen för att minska förutfattade meningar om hur produkterna förhåller sig till varandra.



Figur 1. Försöksbås i det multisensoriska laboratoriet på SP i Borås. Till vänster syns bås 1-8, utrustade med ogenomskinliga draperier. Till höger ses fyra bås där ljuskällor med olika färgtemperatur monterats.

För att möjliggöra bedömningar av olika typer av belysningsprodukter krävs flexibla tak och upphängningsanordningar i försöksbåsen. För försök med takmonterad belysning valdes därför att använda plattor av cellplast (frigolit), som är både billiga, enkla att modifiera och lätta att flytta. Takhöjden i båsen är flexibel genom en tillbyggnadsdel som kan monteras för att uppnå högre takhöjd.

För att bedömningarna ska göras från samma position, det vill säga på samma avstånd från objekten och båsets väggar, markerades stolens position i båset. Att panneldeltagarnas längd varierar, vilket ger en viss förskjutning i höjdlid, antogs endast ge marginella effekter på resultaten.



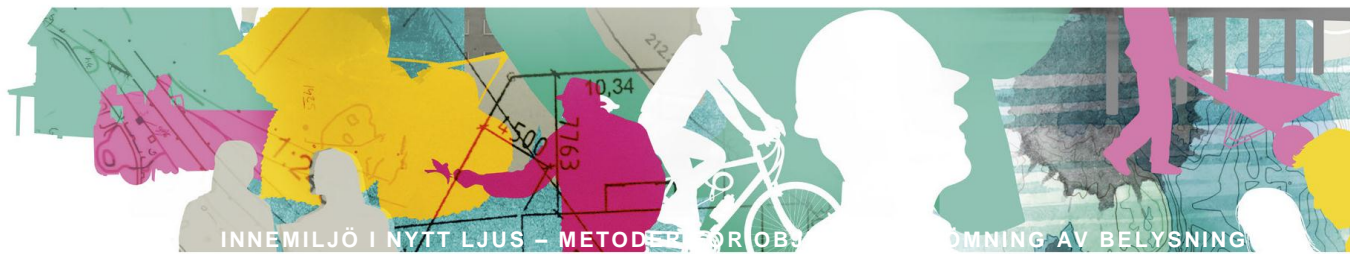
Figur 2. Slutgiltig uppsättning av objekt som används för bedömning av sensoriska belysningsparametrar; två färgkartor i en fotoram med och utan glas, samt ett magasin.

Vid sensorisk analys av många andra produkter såsom livsmedel, medicin eller hygienprodukter utgör produkten som ska bedömas också objektet i båsen. Belysning å andra sidan upplevs i närhet av olika objekt eller miljöer och kan inte på samma sätt bedömas i sig själv. Det krävs därmed att objekt placeras i båsen för att definiera och bedöma olika belysningsparametrar. Inom ramen för projektet provades olika typer av objekt med olika form och karaktär. Baserat på erfarenheterna från de första testförsöken (Nordén m.fl., 2015) modifierades uppsättningen av objekt i båsen. Den slutgiltiga uppsättningen innehöll:

- En enkel färgkarta med de fyra grundfärgerna, där varje färg motsvarar färgerna i Brasiliens, Sveriges respektive Danmarks flaggor (enligt Pantone-skalan).
- En fotoram med skarpa kanter för att skapa skuggningar. I ramen placeras två likadana färgkartor, den ena med glas och den andra utan. Glasets främsta funktion var att skapa reflektion på bordsytan, men också att möjliggöra bedömning av färg vid matt respektive blank yta.
- En tidskrift med både bilder och texter för bedömning av såväl reflexer som läsbarhet.

2.1.2 Urvalskriterier

Att paneldeltagarna har välutvecklade sinnen är en förutsättning för att uppnå robusta resultat från sensoriska bedömningar. Inom de områden där sensorik är



en väletablerad metodik, till exempel smak och lukt, finns internationella ISO-standarder som beskriver urvalskriterier för att säkerställa kvaliteten på panelen. Då sensorisk analys tidigare inte har använts inom belysningsområdet saknas både etablerade urvalskriterier och tester. Ett första steg var därför att fastställa och definiera ett antal urvalskriterier som varje paneldeltagare måste uppfylla. Den uppsättning urvalskriterier som fastslogs var:

- Fullgod syn på vart och ett av ögonen (efter eventuell korrektion med glasögon eller linser)
- Inga diagnostiserade ögonsjukdomar
- Felfritt färgseende
- Två fullt fungerande ögon

2.1.3 Den analytiska panelen

En analytisk panel består vanligen av 8-12 personer (Stone och Sidel, 2004). I denna studie rekryterades 8 paneldeltagare, där urvalet gjordes i enlighet med kriterierna i avsnitt 2.1.2.

2.1.4 Träning och kalibrering

Panelens uppgift är att göra objektiva mätningar av upplevda belysnings-egenskaper, det vill säga att bedöma en uppsättning parametrar utan att *tycka* något om de olika produkterna. Det första steget i sensorisk analytisk bedömning är därför träning, eller kalibrering, där panelen tillsammans med en försöksledare upprättar en gemensam uppsättning parametrar som ska bedömas, samt definitioner och skalor för varje parameter. Träningen är färdig när panelen kan göra likvärdiga bedömningar enligt den gemensamma skalan, så att de i praktiken fungerar som ett mänskligt mätinstrument.

	Intensitet	
TAK Bländning	lite	mycket
Flimmer	lite	mycket
Ljuskällans gulhet	lite	mycket

Figur 3. Utdrag från bedömningsformuläret som användes vid de sensoriska belysningsbedömningarna som visar tre parametrar som bedöms med en linjeskala med två förankringspunkter vid lite och mycket.



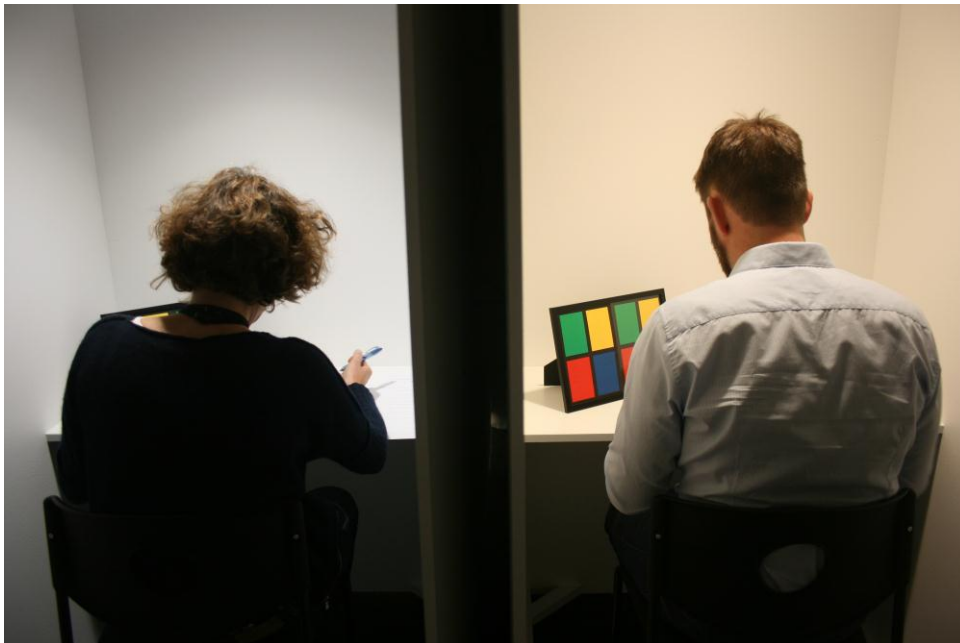
Beroende på syftet med de sensoriska bedömningarna kan sedan olika skalor användas, exempelvis graderade skalor, linjeskalor eller skalor med förankringspunkter (Lawless and Heymann, 2010). I dessa försök användes linjeskalor 0-100 med två förankringspunkter vid 10 respektive 90, där 10 är "lite" och 90 är "mycket", se exempel i Figur 3.

Nästa steg är att genomföra träningsbedömningar av produkter i en iterativ process, där minst två produkter med olika egenskaper bedöms enligt de framtagna definitionerna. De enskilda paneldeltagarnas bedömningar jämförs och diskuteras efter varje bedömningsomgång, varpå definitionerna av parametrarna vid behov revideras. Processen pågår till dess att hela panelen har etablerat en gemensam skala för varje parameter.

2.1.5 Analytiska bedömningar

När panelen har tränats att göra likvärdiga bedömningar av träningsprodukterna genomförs skarpa bedömningar av samtliga produkter som ska utvärderas, se Figur 4. I detta fall bestod försöksuppställningen av fyra olika downlights, se detaljer i avsnitt 2.2. Bedömningarna genomförs i randomiserad ordning för att minska påverkan av föregående produktbedömning. Varje produkt bedöms i triplikat, det vill säga tre gånger. Vid en försöksuppställning med fyra produkter och 12 bås innebär detta att deltagarna endast besökte samma bås en gång under bedömningarna. Träningsprodukterna placerades också i andra bås än vid träningen för att minimera påverkan på resultaten.

Eftersom ögat adapterar (anpassar sig) till aktuella ljusförhållanden hölls samma konstanta ljusnivå på 500 lux utanför båsen som inne i båsen för att minska adaptationstiden. Det omgivande ljuset i laboratoriet var blått (färgkoordinater $x = 0,2630$, $y = 0,2087$). Anledningen att detta valdes framför exempelvis vanligt lysrörsljus var att ljuset i samtliga bås skulle upplevas varmare än omgivande ljus istället för att vissa skulle upplevas påtagligt varmare och andra påtagligt kallare, vilket skulle kunna skapa förutfattade meningar hos panelen.



Figur 4. Belysningsbedömning i laboratorium. Var och en av de fyra produkterna bedömdes tre gånger enligt en randomiserad ordning.

När alla pannedeltagare hade intagit sina respektive bås släcktes omgivande belysning i laboratoriet för att minimera eventuell störning. Varje bedömning av en ny produkt föregicks sedan av en 60 sekunder lång adaptionsperiod, då pannedeltagarna befann sig i båset utan att göra bedömningar.

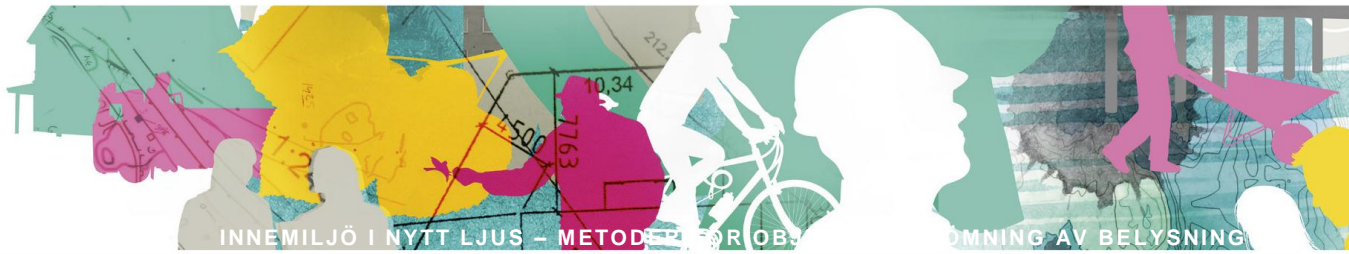
2.2 Försöksdesign





I de genomförda pilottesterna användes en enkel 2x2-design för de produkter som skulle bedömas, vilket innebär att totalt fyra produkter utvärderades.

Tabell 1 visar produkterna och deras olika egenskaper. De två egenskaper som varierade var den korrelerade färgtemperaturen (CCT) och typ av optik. En färgtemperatur på 3 000 K är varmare och används vanligen i norra Europa medan 4 000 K är något kallare och den vanligaste internationellt sett. Båda typerna av optik är vanligt förekommande i olika tillämpningar med downlights.

Tabell 1. Specifikation för de fyra produkter (downlights) som har använts i försöken.

Produkt nummer	Produktnamn	Produkttyp	Färgtemperatur (CCT)	Optik/ Reflektor	Produktbild*
----------------	-------------	------------	----------------------	------------------	--------------



FR930	ZUMTOBEL PANOS INF E150HF 16W LED930 LDO WH	Downlight	3000K	Speglade, facetterad	
FR940	ZUMTOBEL PANOS INF E150HF 16W LED940 LDO WH	Downlight	4000K	Speglade, facetterad	
VR930	ZUMTOBEL PANOS INF E150HL 16W LED930 LDO WH	Downlight	3000K	Vit	
VR940	ZUMTOBEL PANOS INF E150HL 16W LED940 LDO WH	Downlight	4000K	Vit	

De egenskaper som bedömdes, liksom deras definition och i vilken punkt de bedömdes återfinns i Tabell 2. För att kunna göra samstämmiga bedömningar behöver punkten där bedömningen görs klargöras tydligt inom panelen. I detta fall sattes exempelvis en text upp högt upp på väggen där bländning och flimmer skulle bedömas. Ytterligare bedömningspunkter återfinns i Figur 5. Bedömningarna gjordes med papper och penna, med ett formulär för varje bedömning.



Tabell 2. Slutgiltig parameterlista som användes vid belysningsbedömningar i februari 2016. För bedömningspunkter, se Figur 5.

Observationspunkt	Egenskap	Definition
Tak	Bländning	Grad av bländning – ögats irritation. Titta nedifrån och upp (dvs inte direkt på ljuskällan) och titta på texten som är uppsatt på väggen i skarven mellan vägg och tak.
	Flimmer	Grad av flimmer (titta på texten som är uppsatt på väggen i skarven mellan vägg och tak)
	Ljuskällans gulhet	Grad av gulhet (titta på texten som är uppsatt på väggen i skarven mellan vägg och tak)
	Värme	Grad av värme på handryggen (håll handen i höjd med taket i 5 sek)
Vägg	Ojämnhet	Ljusojämnhet på hela bakre väggen. Lite = helt jämn fördelning, Mycket = skuggig och ojämn
Bordsskiva	Skuggans skärpa vid ram	Den dominanta skuggans skarphet på bordet av ramens vänstra sida (2-3 cm från ramens framkant) vid nedre hörnet i höjd med bakre sidan på ramen.
	Skuggans skärpa bakre kant	Den dominanta skuggans skarphet och entydighet från ramens övre kant på bordet, nära väggen där bord möter vägg.
	Multipla skuggor	Grad av multipla skuggor nära väggen där bord möter vägg. Mycket = flera väldefinierade skuggor
	Reflex bord	Grad av reflex i bordsskivan framför ram med glasskiva (nära ramen och när du varierar kroppställning)
Tidskrift	Reflex tidskrift	Slå upp sidan 54. Rulla tidskriften till halva sidan, lyft tidskriften och titta på bilden i övre kant. Bedöm styrka/grad av reflex i bilden. Bedöm maximal reflex.
	Läsbarhet tidskrift	Slå upp sidan 117 och läs valfri del av texten (brödtexten i Candidatorannonserna). Låt tidskriften ligga på bordet. Bedöm kontrast som ett mått på läsbarhet.
Ram	Färgöverensstämmelse röd	Titta på färgkarta i ram utan glas. Bedöm färgöverensstämmelse med referensfärg i förberedelserummet.

	Färgöverensstämmelse blå	Titta på färgkarta i ram utan glas. Bedöm färgöverensstämmelse med referensfärg i förberedelserummet.
	Färgöverensstämmelse grön	Titta på färgkarta i ram utan glas. Bedöm färgöverensstämmelse med referensfärg i förberedelserummet.
	Färgöverensstämmelse gul	Titta på färgkarta i ram utan glas. Bedöm färgöverensstämmelse med referensfärg i förberedelserummet.



Figur 5. Bedömningspunkter för bländning, flimmar och ljuskällans gulhet överst, för de olika skuggningarna från fotoramen till vänster och reflex i tidskrift till höger.

2.3 Fysikaliska mätningar

För att kunna korrelera belysningens uppmätta och upplevda egenskaper karakteriserades belysningsprodukterna även fotometriskt genom fysikaliska mätningar av ljusparametrar såsom luminans, illuminans (belysningsstyrka), spektra och färgtemperatur (CCT – Correlated Colour Temperature). Luminans och illuminans mättes med en fotometer (Hagner S4) medan spektra och färgparametrar mättes med en handhållen spektrometer (Metrue SIM-2), se Figur 6.

Den horisontella belysningsstyrkan i mitten av bordet mättes med och utan en person i båset. Luminans mättes på bordet, på väggen rakt fram och högt upp på väggen, på magasinet och på de två röda rektanglarna i färgkartan i ramen.



Figur 6. Fysikaliska ljusmätningar genomfördes parallellt med de sensoriska bedömningarna.

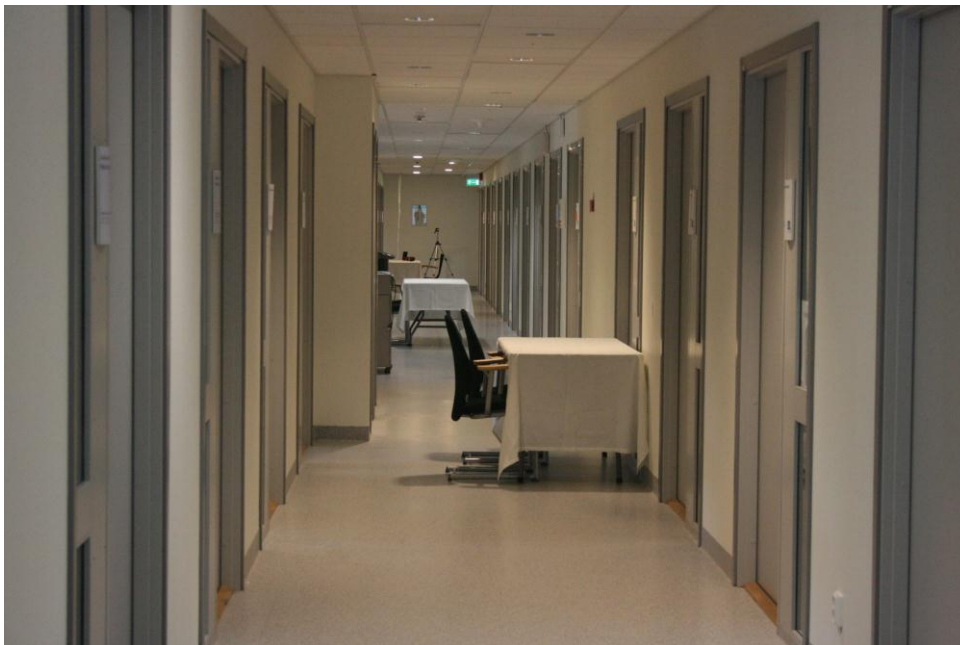
2.4 Tillämpning av metoden i verklig kontext

För att verifiera metodens tillämplighet och utreda resultatens robusthet genomfördes tester av samma belysningsprodukter som användes i laboratoriet i en verklig tillämpningsmiljö. Eftersom projektet använde downlights i testerna valdes en lång korridor i ett kontorshus på SP i Borås som tillämpningsmiljö. Syftet med att implementera metoden i en verklig miljö är att denna, till skillnad från laboriemiljön, innehåller en rad naturligt störande moment. Om den tränade panelen kan genomföra likvärdiga bedömningar i en verklig kontext innebär detta dels att resultaten från laboriebedömningar är applicerbara på verkliga tillämpningar, dels att bedömningar av exempelvis stora produkter eller komplexa system av produkter skulle kunna genomföras utanför laboratoriet.

I korridoren skapades fyra olika bedömningsområden. Inom varje bedömningsområde installerades fem armaturer av samma sort efter varandra och i mitten av

varje bedömningsområde ställdes ett bord för bedömarna, se Figur 7. På detta sätt skapades begränsade områden för bedömning av en viss belysningsprodukt (produkttyperna återfinns i

Tabell 1) och ljuskontaminering från de övriga produkterna minimerades. Fysikaliska mätningar genomfördes för att fastställa förutsättningarna i form av exempelvis ljusstyrka och färgtemperatur.



Figur 7. De fyra belysningsprodukterna som testats i laboratorium installerades i en korridor för att verifiera metodiken och utreda resultatens robusthet.

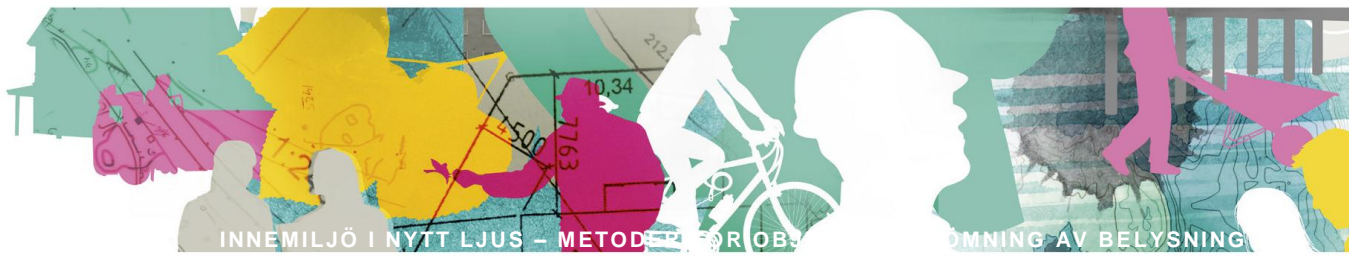
En likvärdig försöksuppställning som i båsen skapades genom att borden täcktes med ett vitt tyg och försågs med samma ram med färgkartor och samma tidskrift. Borden placerades på ett sådant sätt att ramarnas placering förhöll sig till ljuskällan på samma sätt som i båsen, se Figur 8. Vid försök i korridoren delade två bedömare samma bord. För att skuggbilden skulle bli likvärdig hade ramarna olika riktning på de båda sidorna av bordet.



Figur 8. Samma försöksupställning användes i tillämpningsmiljön som i laboratoriet, vilket inkluderade färgkartor i ram med och utan glas, samt en tidskrift.



Figur 9. Bedömningarna i verklig kontext genomfördes med samma panel och med samma parametrar som i laboratoriet för att möjliggöra jämförelser.



Bedömningar genomfördes med samma tränade panel och enligt samma parameterlista och definitioner som i laboratoriet, se Figur 9. De olika produkterna bedömdes återigen i randomiserad ordning och i triplikat. Träning av panelen hade genomförts dagen före, i samband med laboratoriebedömningar, varför enbart en kort repetition föregick bedömningarna i den nya kontexten.

2.5 Konsumenttester

Sensoriska metoder bygger i stort på tre olika delar; analytiska (objektiva) bedömningar i laboratorium, fysikaliska mätningar och konsumenttester. Genom att sammankoppla dessa tre delar genom statistiska beräkningar är det möjligt att identifiera vilka egenskaper hos en produkt som styr gillandet. I förlängningen planeras även de analytiska belysningsbedömningarna sammankopplas med konsumenttester. Syftet med detta upplägg är att förkorta utvecklingstiden för attraktiva produkter. Detta kan åstadkommas när sambanden mellan objektiva egenskaper och konsumenternas gillande är etablerade. Då kan försök med en tränad panel tillhandahålla den information som producenten behöver, utan att behöva gå vägen över konsumentundersökningar som ofta både är omfattande i tid och resurser.

Ett första pilotförsök med konsumenttester genomfördes inom ramen för projektet, där försökspersoner inbjöds att *tycka till* om belysning. Ett frågeformulär utformades med 6 frågor kring den subjektiva upplevelsen av belysningen med inspiration från POLQ-metoden som beskrivs i Johansson m.fl. (2014), vilken utgår från semantiken där olika motsatta adjektiv används i par. I det använda formuläret ombads konsumenterna ange i vilken grad de upplever belysningen som:

- Skarp
- Kall
- Onaturlig
- Flimrar
- Ojämn
- samt om de gillar belysningen

Varje påstående bedömdes utifrån en 9-gradig Likert-skala¹ från "Håller inte alls med" till "Håller med helt och hållet", se även Bilaga 2. Totalt deltog 58 personer i undersökningen. Varje person bedömde samtliga fyra belysningsprodukter (angivna i

Tabell 1) och den ljusmiljö de skapar då dessa var installerade i korridoren. Försökspersonerna var instruerade att vid själva bedömningen befinna sig i mitten av bedömningsområdet för den enskilda produkten för att minimera störningar från övriga produkter, men att de före och mellan bedömningarna var fria att röra

¹ Likert-skalan är ett vanligt sätt att mäta konsumentattityder. Respondenterna tar ställning till i vilken grad de instämmer med en eller flera specifika påståenden.

sig mellan de olika områdena, se Figur 10. Bedömningarna kunde göras i valfri ordning.



Figur 10. En konsumentundersökning genomfördes, där ett antal personer inbjöds att tycka till om belysningsprodukterna vid montering i en korridor.

2.6 Databearbetning och analys

Resultaten från de sensoriska bedömningarna och de fysikaliska mätningarna analyserades statistiskt med 2-vägs ANOVA och sedan med parvisa jämförelser med Bonferronis test först separat och därefter gemensamt. Pearson-korrelation genomfördes för att undersöka samvariation mellan fysiska och sensoriska parametrar. För en överblick av resultaten genomfördes även en principalkomponent analys, en så kallad PCA (Albinsson m.fl., 2013).



3 Resultat

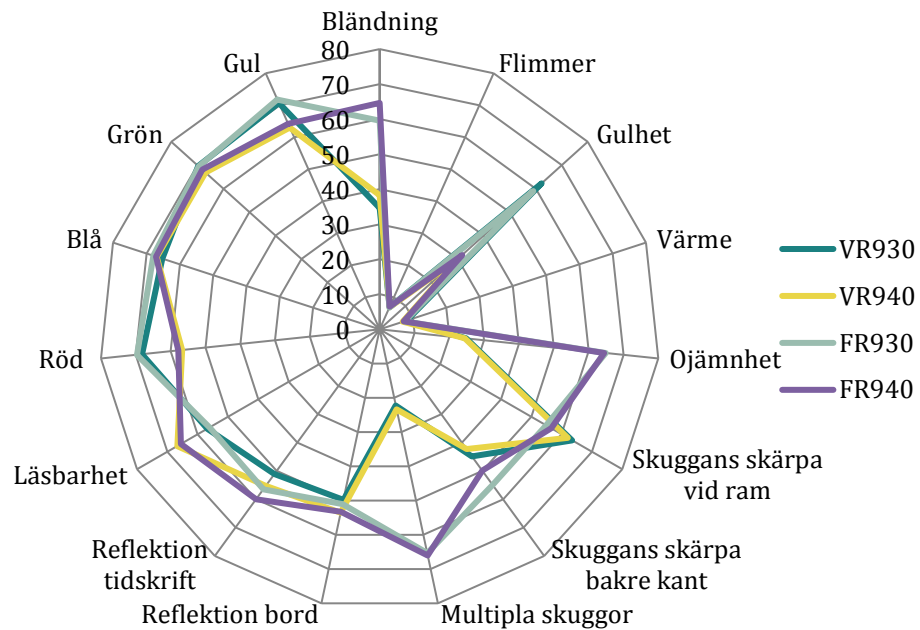
I detta avsnitt redovisas resultat från två olika tillfällen. Sensoriska, fysikaliska och sammanvägda resultat i avsnitt 3.1, 3.2 och 3.3 gäller bedömningar genomförda i februari 2016. Under detta tillfälle genomfördes inga försök i verklig kontext. Istället utgår resultaten för sensoriska bedömningar i verklig kontext i avsnitt 3.4 och konsumenttestet i avsnitt 0 från försök genomförda under oktober 2015. Den största skillnaden mellan de båda bedömningsomgångarna är att färgparametrarna definierades olika. I oktober 2015 definierades färg som "djup/intensitet av färg", medan i februari 2016 användes definitionen som återfinns i Tabell 2, där färgdjuphet bedöms i relation till referensfärger i form av en färgkarta i lysrörsljus i samlingsrummet utanför laboratoriet (färgtemperatur 3000 K, färgåtergivning R_A 85).

3.1 Sensoriska resultat

Figur 11 och

Tabell 3 visar resultaten från de sensoriska bedömningarna, och i tabellen indikeras även statistisk signifikanta skillnader. Resultaten visar att:

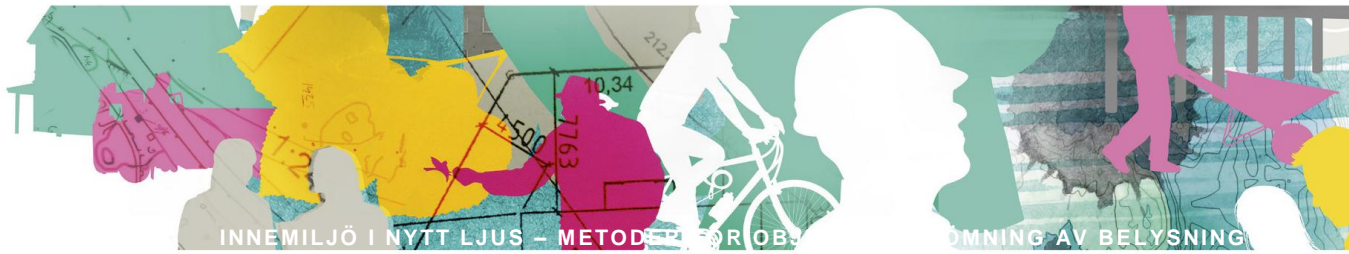
- Paneldeltagarna kunde skilja mellan attribut och prover.
- Det finns stora och signifikanta skillnader mellan prover för attributen Multipla skuggor, Ojämnhet, Reflexer och Gul (färgdjup), vilka kunde associeras med antingen färgtemperatur och/eller reflektortyp.
- Mindre men signifikanta skillnader konstaterades även för attributen Skärpa av skuggor, Läsbarhet, Röd, Grön och Gul (färgdjup). Några av attributen kunde kopplas till färgtemperatur och/eller reflektortyp.
- Intressant att notera är att Blå (färgdjup) inte skilde sig mellan proverna, medan de övriga utvärderade färgerna gjorde det.
- Det finns en tydlig skillnad i skuggor beroende på typ av reflektor.
- Baserat på analys av varje paneldeltagares MSE (mean square error) och p-värde gjorde paneldeltagarna robusta bedömningar.



Figur 11. Spindeldiagram som visar medelvärden från de sensoriska bedömningarna av de 15 parametrarna för de fyra armaturerna VR930, VR940, FR930 och FR940.

Tabell 3. Medelvärden och standardavvikelser för alla bedömda parametrar för de fyra olika armaturerna.

Prov	VR930 ($m \pm \text{std}$)	VR940 ($m \pm \text{std}$)	FR930 ($m \pm \text{std}$)	FR940 ($m \pm \text{std}$)
Bländning	35±12 ^a	38±13 ^a	60±11 ^b	65±11 ^b
Flimmer	7±4 ^a	7±4 ^a	7±4 ^a	7±4 ^a
Ljuskällans gulhet	62±10 ^a	30±10 ^b	59±13 ^a	32±14 ^b
Värme	8±4 ^a	7±4 ^a	8±5 ^a	7±4 ^a
Ojämnhet	25±7 ^a	25±7 ^a	65±8 ^b	65±8 ^b
Skuggans skärpa vid ram	64±8 ^a	62±6 ^{ab}	55±11 ^c	57±10 ^{bc}
Skuggans skärpa bakre kant	45±14 ^{ab}	42±11 ^{ab}	55±10 ^a	50±14 ^b
Multipla skuggor	22±10 ^a	23±10 ^a	65±7 ^b	66±8 ^b

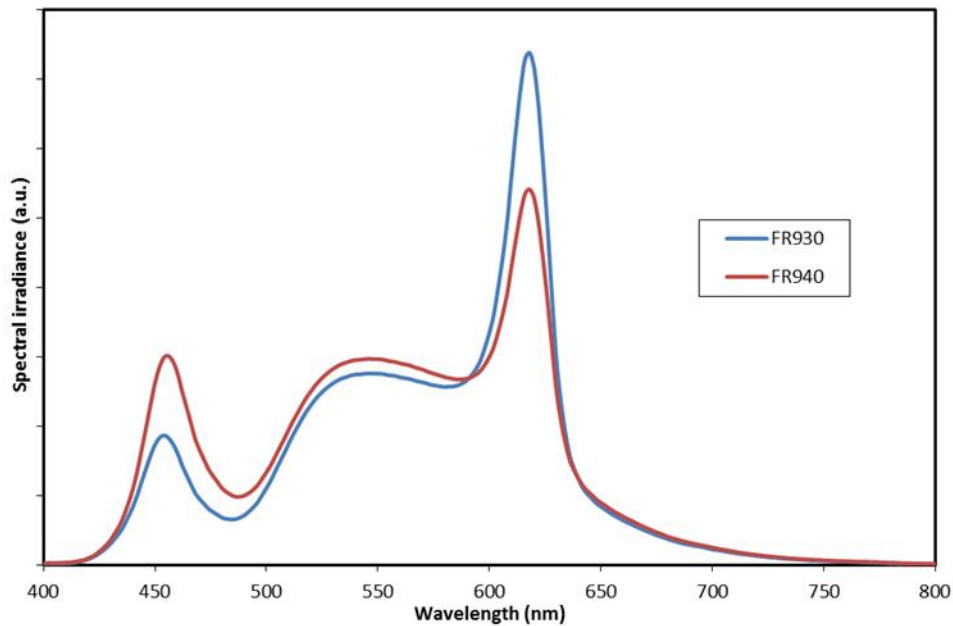


Reflex bord	50±16 ^a	54±12 ^a	51±11 ^a	53±12 ^a
Reflex tidskrift	51±12 ^a	55±13 ^{ab}	57±13 ^{ab}	60±12 ^b
Läsbarhet	57±10 ^a	67±17 ^b	56±9 ^a	66±8 ^b
Färgöverensstämmelse röd	68±11 ^a	57±10 ^b	70±8 ^a	58±12 ^b
Färgöverensstämmelse blå	65±11 ^a	67±10 ^a	68±8 ^a	67±9 ^a
Färgöverensstämmelse grön	70±7 ^a	67±8 ^b	70±8 ^a	68±7 ^b
Färgöverensstämmelse gul	71±6 ^a	63±8 ^b	72±5 ^a	64±9 ^b

Medelvärden ± standardavvikelse anges, liksom signifikanta skillnader som anges med bokstäver, där olika bokstäver indikerar varje signifikant skillnad ($P < 0.05$), till exempel är värden märkta med a signifikant skilda från värden markerade med b eller c, men inte signifikant skilda från värden markerade med ab eller ac.

3.2 Fysikaliska mätningar

Spektra från två av ljuskällorna (FR930 och FR940) återfinns i Figur 12. Spektrum från den varmare ljuskällan (FR930, 3000 K) har ett större bidrag av rött ljus, vilket ses som en högre topp runt 620 nm.



Figur 12. Den spektrala irradiansen från två av ljuskällorna med olika färgtemperatur (CCT). Kurvorna viktas mot respektive luminans.



Ytterligare resultat från de fysikaliska mätningarna återfinns i Tabell 4. De fysikaliska mätningarna visade signifikanta skillnader relaterat till CCT (färgtemperatur) och reflektortyp.

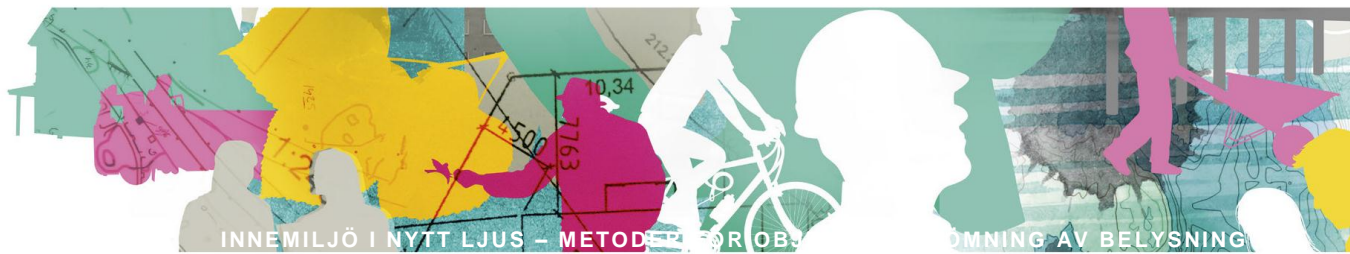
Tabell 4. Medelvärden och standardavvikelser från mätningar på de fyra typerna av armaturer (tre produkter av varje sort).

Prov	VR930 (m±std)	VR940 (m±std)	FR930 (m±std)	FR940 (m±std)
Illuminans (Lux)				
Bord, tomt bås	457±11 ^a	441±8 ^a	438±19 ^a	437±20 ^a
Bord, person i bås	411±15 ^a	409±6 ^a	415±13 ^a	409±10 ^a
Luminans (cd/m²)				
Vägg rakt fram	88±5 ^a	90±2 ^a	81±3 ^b	79±4 ^b
Tidskrift	18±1 ^a	18±1 ^a	17±2 ^a	17±1 ^a
Bord	111±4 ^a	111±4 ^a	113±5 ^a	112±3 ^a
Röd utan glas	22±2 ^a	19±1 ^{ab}	22±1 ^{ab}	19±2 ^c
Skarv mellan vägg och tak	58±3 ^a	58±1 ^a	35±2 ^b	36±4 ^b
CCT (K)	3096±38 ^a	3829±14 ^b	3089±44 ^a	3873±17 ^b

Medelvärden ± standardavvikelser anges, liksom signifikanta skillnader som anges med bokstäver, där olika bokstäder indikerar varje signifikant skillnad ($P < 0.05$), till exempel är värden märkta med a signifikant skilda från värden markerade med b eller c, men inte signifikant skilda från värden markerade med ab eller ac.

Luminanserna i båsen är högre med den diffusa reflektorn med undantag för luminans på bordet. Det beror på att effekten på varje armatur är inställd att ge 500 lux på bordet rakt under ljuskällan. Följaktligen måste armaturer med diffus reflektor (VR930, VR940), där ljus reflekteras och når alla delar av båset, ha ett högre totalt ljusflöde än armaturer med facetterad reflektor (FR930, FR940) som ger riktat ljus nedåt. Således blir också illuminansen på väggar och tak högre med diffus reflektor.

Spektra och värden på färgtemperatur visar som väntat skillnader mellan varmvitt ljus (VR930, FR930) och det mer neutralvita ljuset (VR940, FR940). Trots att skillnaderna är för små för att vara signifikanta är luminansen från den rödfärgade rektangeln i färgkartan högre i varmvitt ljus, vilket är rimligt eftersom spektrum för varmvitt ljus har ett större bidrag i det röda ljuset.



3.3 Korrelationer mellan sensoriska och fysikaliska parametrar

För att utvärdera graden av samvarians mellan fysikaliska och sensoriska mätningar genomfördes Pearson-korrelationer, se Tabell 5. Korrelationskoefficienter på 0.9 eller högre noterades. Följande samvariationer mellan sensoriska och fysikaliska parametrar kan observeras i Tabell 5:

- *Luminansen på bordet* är enligt tabellen starkt korrelerad till *Skuggans skärpa bakre kant*. Skillnaden i luminans på bordet mellan de olika proven är dock väldigt liten (Tabell 4), varför detta kan vara en statistisk konstruktion.
- *Färgdjup*, förutom för blå, är starkt korrelerat till *Luminans röd utan glas* och *Färgtemperatur*. Alltså upplevs röd, gul och grön färg ha ett annat färgdjup i det varmvita ljuset jämfört med det neutralvita ljuset.
- *Läsbarhet* och *Färgtemperatur* är starkt korrelerade. Paneldeltagarna bedömde att läsbarheten var högre i det neutralvita ljuset.

Korrelationen mellan *Reflektion på bordet* och *Färgtemperatur* är hög. Dock saknas signifikant skillnad i Reflektion på bordet mellan armaturerna med olika färgtemperatur, se

- Tabell 3.
- *Bländning* är negativt korrelerat till *Luminans i skarven mellan vägg och tak*. Uppställningen med den facetterade ljuskällan bedömdes ge mer obehag (bländning) i en punkt jämte själva ljuskällan. Luminansen i denna punkt var lägre än med den diffusa reflektorn, medan kontrasten var högre.
- Luminansvärdena är korrelerade till *Ojämnhet* och *Skuggor*, eftersom de båda relaterar till den ojämna ljusfördelningen i båsen med facetterad reflektor.

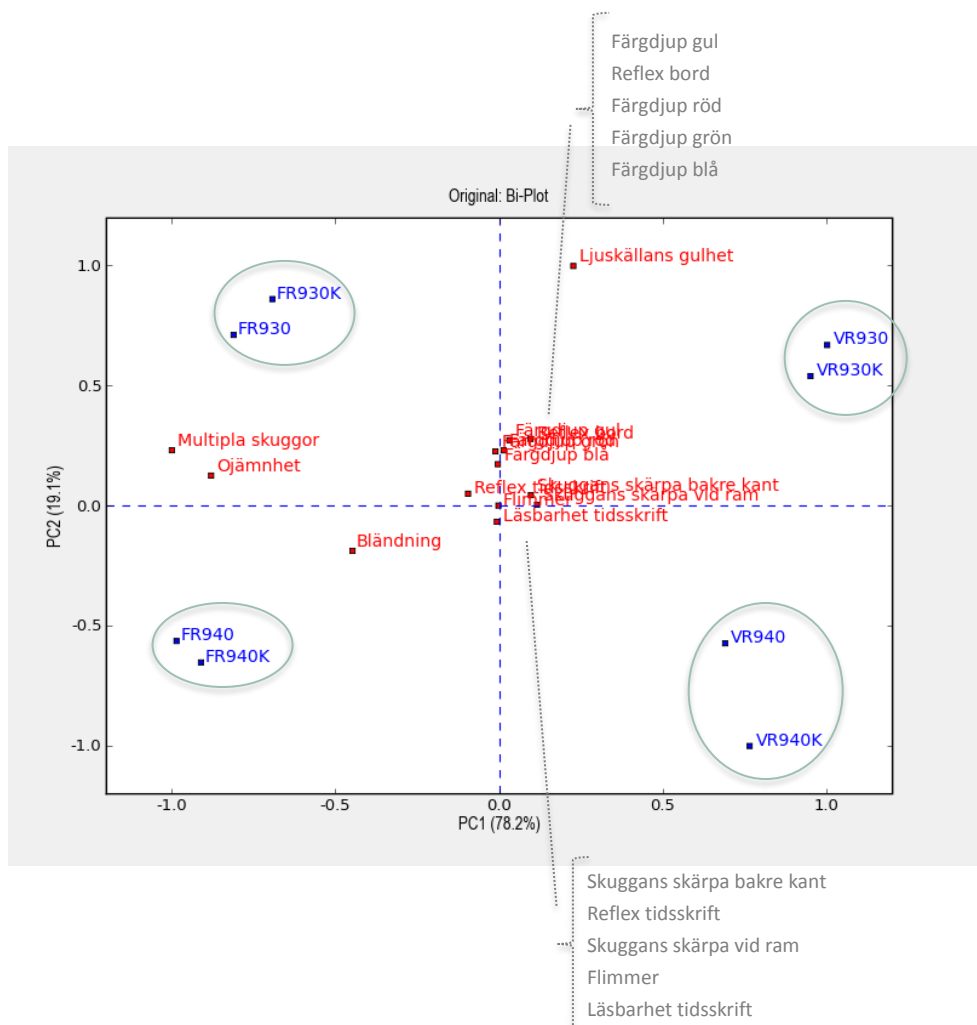


Tabell 5. Pearson-korrelationer som visar samvariationen mellan sensoriska bedömningar och fysikaliska mätningar. Tabellen visar enbart höga korrelationer, med korrelationskoefficient ≥ 0.9 .

	Bländning	Flimmer	Gulhet	Ojämnhet	Skuggans skärpa vid ram	Skuggans skärpa bakre kant	Multipla skuggor	Reflektion bord	Reflektion tidskrift	Läsbarhet	Röd	Blå	Grön	Gul
Illuminans, tomt bås									-0.92			-0.94		
Illuminans, person i bås														
Luminans rakt fram	-0.97			-0.98	0.92		-0.98							
Luminans tidskrift				-0.91		-0.91	-0.90							
Luminans bord				0.90		0.99								
Luminans röd utan glas			1.00					-0.96		-1.00	1.00		0.96	1.00
Luminans skarv mellan vägg och tak	-0.99			-1.00	0.98	-0.91	-1.00							
Färgtemperatur (CCT)			-0.99					0.95		0.99	-0.99		-0.92	-0.99



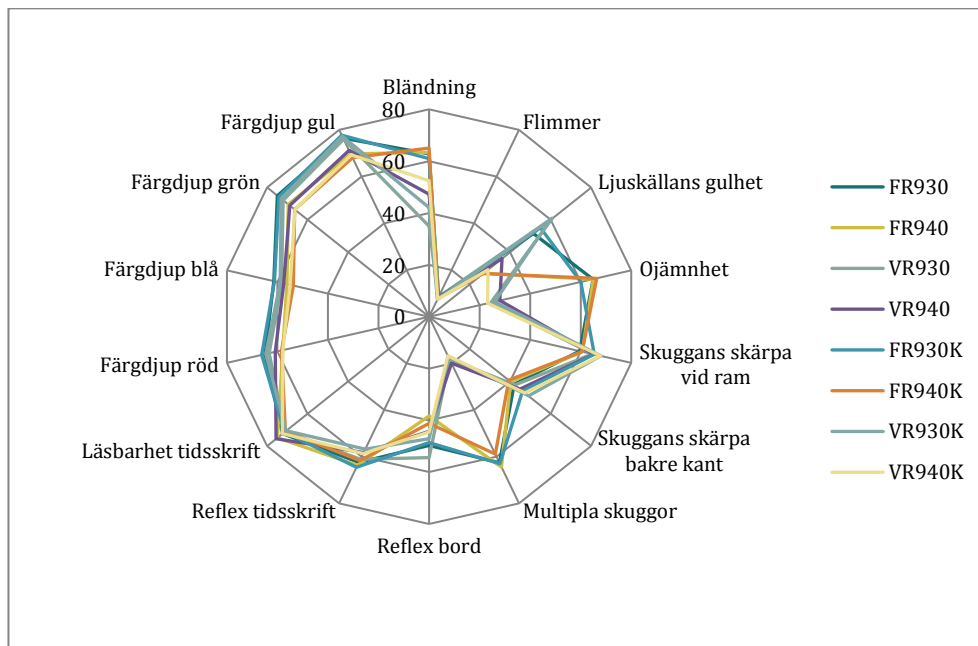
3.4 Sensoriska bedömningar i verklig kontext



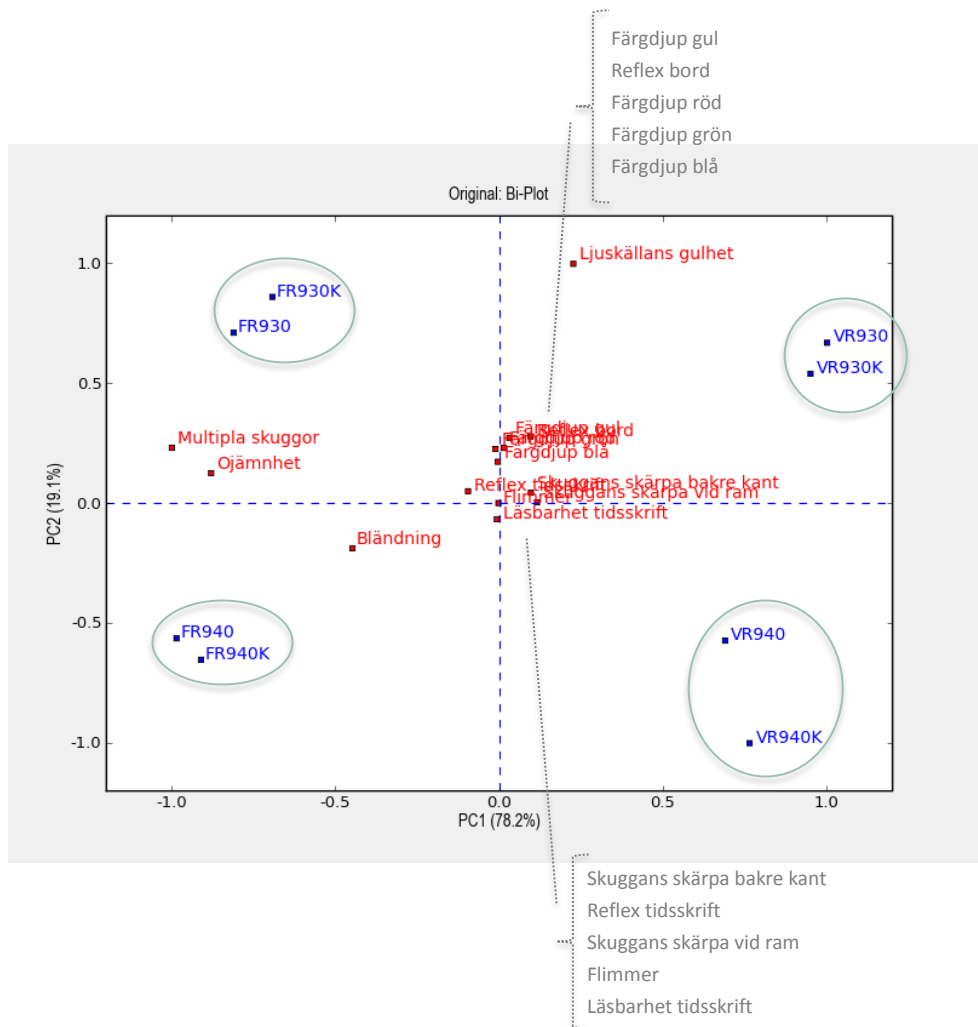
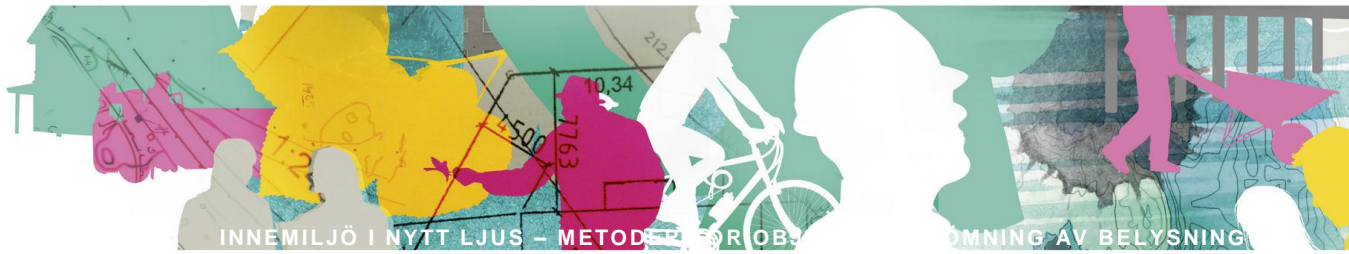
Figur 14 Översiktsbild som visar knappt 100 % av den totala variationen i data. Prover bedömda i laboratorium och verklig kontext är bedömda mycket lika. Det prov som skiljer sig mest mellan bås och verklig kontext är VR940.

visar resultaten från de sensoriska bedömningarna, både de som genomfördes i det multisensoriska laboratoriet och de gjorda i verklig kontext. Resultaten visar att bedömningarna från laboratorium och verklig kontext kan betraktas som relativt likvärdiga. Mätningar gjorda i laboratorium uppvisar något bättre repeterbarhet samt fler och tydligare signifikanta skillnader mellan de olika

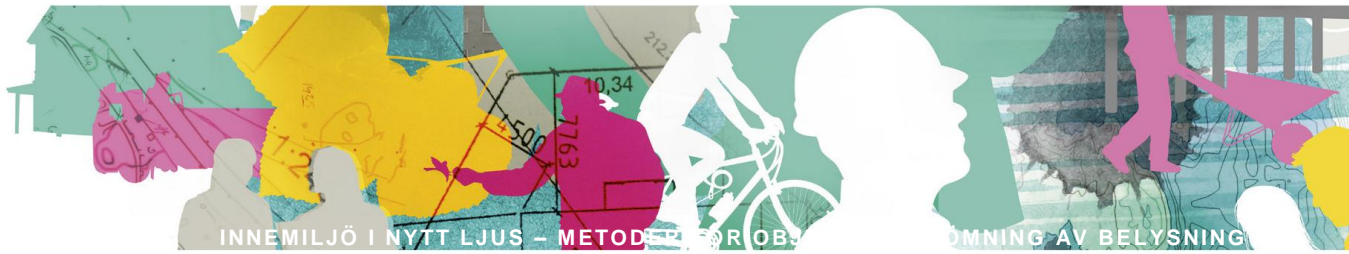
proverna. Kort kan sägas att bedömningarna i laboratorium blir skarpare och mer exakta än de som görs i verklig kontext och att det i stort är möjligt att dra ungefär samma slutsatser ur båda typerna av bedömningar.



Figur 13 Medelvärden för respektive produkt. Prover märkta med K är de prover som bedömdes i verklig kontext, övriga är bedömda i sensoriskt laboratorium.



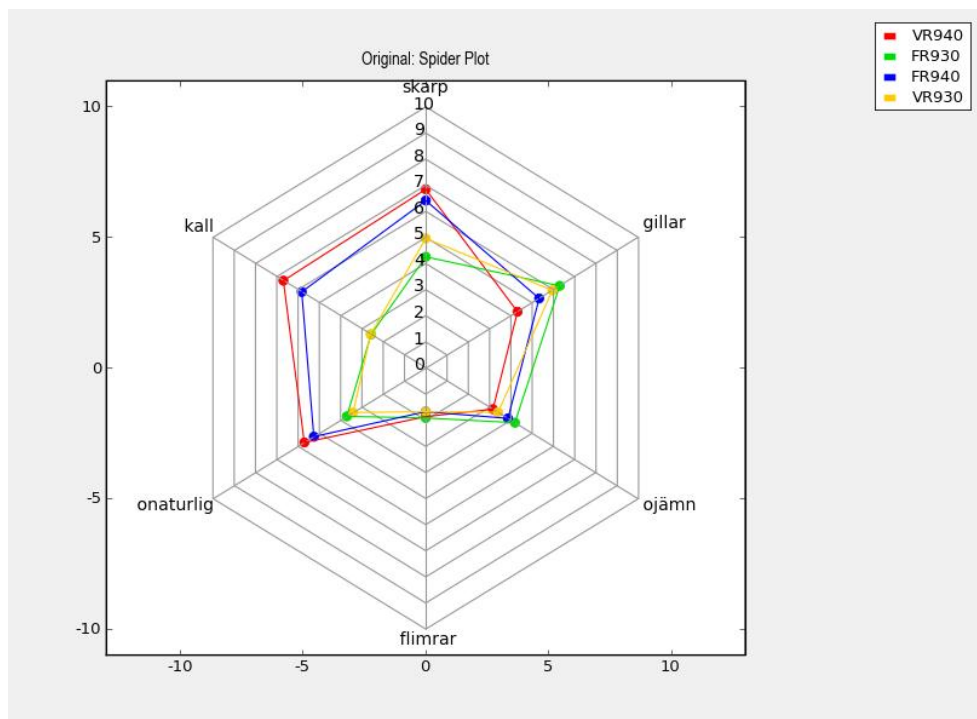
Figur 14 Översiktsbild som visar knappt 100 % av den totala variationen i data. Prover bedömda i laboratorium och verklig kontext är bedömda mycket lika. Det prov som skiljer sig mest mellan bås och verklig kontext är VR940.



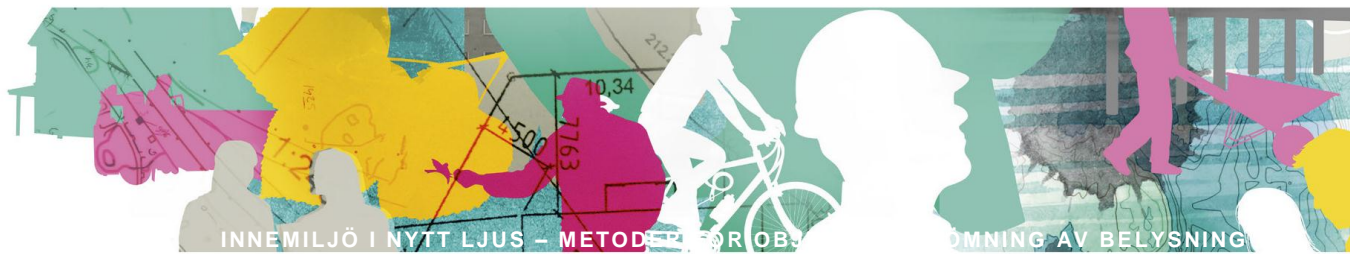
3.5 Konsumentundersökning

Fokus för momentet konsumentundersökningar var att ta fram en skiss på upplägg och formulär för konsumenttester och att testa detta i ett pilotförsök. Resulterande data har därför inte använts i någon djupare analys, men redovisas kort nedan. Figur 15 och

Tabell 6 visar medelvärden samt standardavvikelser. Det kan tydligt ses att proverna FR930 och VR930 (färgtemperatur 3 000 K) uppfattas som likvärdiga och skilda från VR940 och FR940 (färgtemperatur 4 000 K), främst i upplevelsen av kyla, skarpheit och onaturlighet. Gillandet är högst för FR930 och VR930.

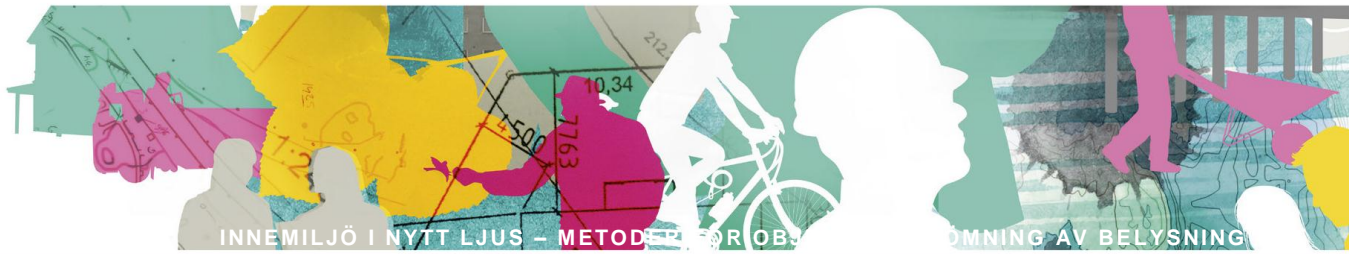


Figur 15. Medelvärde för upplevda egenskaper och gillande.



Tabell 6. Medelvärde och standardavvikelse för resultaten från konsumentundersökningen.

	FR930	FR940	VR930	VR940
1. Jag upplever att belysningen är skarp	6,4 +2,2	6,4+1,7	5,0+2,3	6,8±1,6
2. Jag upplever att belysningen är kall	2,6+1,8	5,8+2,0	2,6+1,9	6,7±1,8
3. Jag upplever att belysningen är onaturlig	3,7+1,9	5,3+2,1	3,4+1,7	5,7±2,1
4. Jag upplever att belysningen flimrar	1,9+1,4	1,7+0,9	1,7+1,0	1,9±1,3
5. Jag upplever att belysningen är ojämn	4,2+2,4	3,9+2,3	3,4+2,0	3,2±2,0
6. Jag upplever att jag gillar belysningen	6,3+1,7	5,3+2,2	5,9+1,9	4,3±2,3



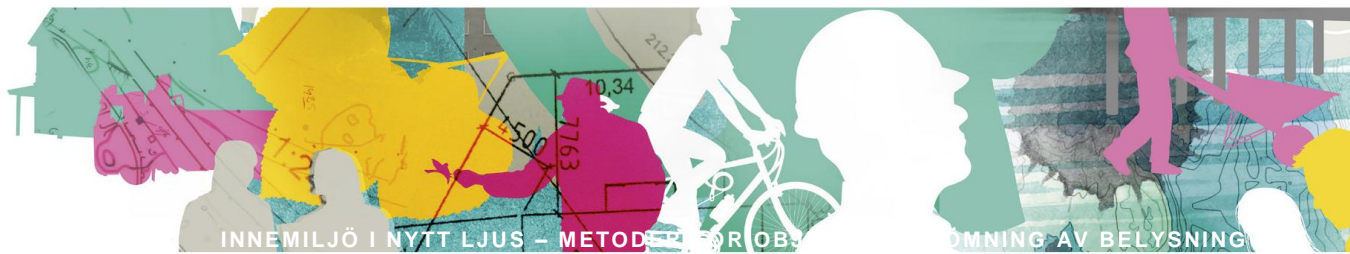
4 Diskussion

4.1 Insikter sensorisk belysningsbedömning

I linje med tidigare forskning har detta projekt identifierat ett antal parametrar som behöver utforskas vidare, såsom bländning, färg, läsbarhet och skugga:

- Upplevelse av bländning är inte trivialt. Under den första träningen upplevde ett antal paneldeltagare att den speglade reflektorn, som ger mer riktat ljus nedåt, att ge mer bländning, medan övriga ansåg att uppställningen med diffus reflektor, som har högre luminans, gav mer bländning. Under träningen förfinades definitionen av bländning så att alla paneldeltagare kunde göra likvärdiga bedömningar. Bedömningarna har en negativ samvariation med fysikaliska mätningar av luminans, vilket innebär att upplevelsen av bländning inte nödvändigtvis ökar med luminansen.
- Färg bedömdes i relation till en referens-färgkarta som placerats i ett förrum med lysrörsbelysning (CCT på 3000 K, färgåtergivning R_A på 85). Resultatet skulle eventuellt kunna bli annorlunda med referens placerad i dagsljus. Perception och definitioner av färg är inte trivialt och har utforskats i tidigare forskning, se exempelvis Szybinska Matusiak och Fridell Anter (2013). Sensoriska bedömningar av färg behöver vidareutvecklas, med fördel utgående från behoven bland belysningsbranschen och professionella beställare.
- Läsbarheten är starkt korrelerad till ljusets färgtemperatur. Kallare färgtemperatur upplevdes producera större kontraster och därmed högre läsbarhet. Resultaten är i linje med de studier som rapporteras i Navvab (2001) och Berman m.fl. (2006).
- Skuggningar är av stor betydelse inom ljusdesign. I testerna bedömdes tre olika parametrar för att beskriva skugga: Skuggans skärpa vid ram, Skuggans skärpa bakre kant och Multipla skuggor. De speglade reflektorerna producerade tydligt mer multipla skuggor av fotoramen. För att ge en mer heltäckande bild av hur skuggningar upplevs bör de skuggrelaterade parametrarna förfinas och utvidgas ytterligare, bland annat genom att inkludera skuggans riktning och skuggbild. Föremålet som används vid bedömningarna (en fotoram) kan också bytas ut eller kompletteras för att inkludera objekt med olika ytstruktur och form som därmed skapar olika typer av skuggor.

Vid sensoriska bedömningar används idag vanligen läsplattor för att registrera resultat. Att varje paneldeltagare direkt matar in sin bedömning i en digital enhet förenklar databearbetning och analys. Vid belysningsbedömning är detta dock inte möjligt, eftersom en läsplatta skulle skapa ljusstörningar i båsset och därmed påverka upplevelsen av belysningsprodukten. Istället genomfördes



bedömningarna med hjälp av papper och penna, varefter varje formulär översätts till en digital siffra.

Nästa steg i utvecklingen av metoder för objektiv sensorisk belysningsbedömning består i synnerhet av två delar; utökade försök i verkliga kontexter och konsumentundersökningar.

Inom ramen för detta projekt har bedömningar utförts i en verklig kontext (korridor), det vill säga utanför laboriemiljö där produkten installeras i en miljö med naturliga störningsmoment. Fler tester i olika miljöer vore önskvärt, då dessa syftar till att verifiera tillämpbarheten av metoden. Att de objektiva bedömningarna i en verklig kontext genererar samma resultat som bedömningar i laboriemiljö visar att den genererade kunskapen om upplevda ljusegenskaper inte enbart gäller i laboriemiljö, utan även i verkliga applikationer (t ex kontorsmiljöer). Vidare möjliggör det objektiva bedömningar av stora eller komplexa belysningsprodukter som inte kan installeras i försöksbås.

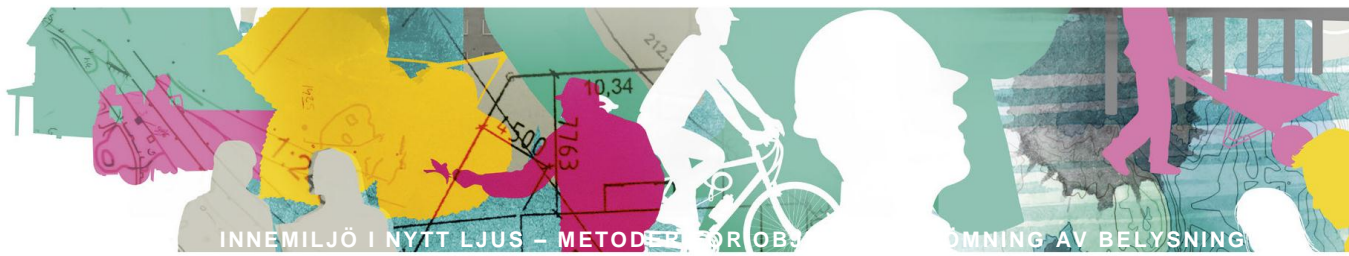
En mindre konsumentundersökning genomfördes för att testa en framtagen metodik. I förlängningen kan resultaten från konsumenttester sammankopplas med resultat från objektiva sensoriska bedömningar och fysikaliska mätningar genom statistiska metoder. En sådan analys genererar kunskap kring vilka belysningsparametrar som styr gillandet av armaturer och ljusmiljöer. Denna information kan stödja belysningsbranschen att fokusera utvecklingen av nya produkter och system på specifika egenskaper och därmed korta utvecklingscykeln för nya attraktiva belysningsprodukter. Formulär och metodik för konsumentundersökningar bör vidareutvecklas för att tillse att de genererar relevant kunskap.

4.2 Energirelevans

Den metod för objektiv bedömning av belysning som har utvecklats inom detta projekt väntas på sikt främja både utvecklingen och ökad installationstakt av energieffektiv belysning. Detta dels genom att bidra till ökade insikter hos belysningsbranschen gällande vilka upplevda belysningssegenskaper som kännetecknar attraktiva belysningsprodukter, dels genom att stödja beställare att ställa krav som inte enbart utgår från fysikaliska mätvärden utan även från komfort och upplevda ljusegenskaper. Därigenom väntas projektet bidra till att realisera den potential för effektivare energianvändning för belysning som idag finns.

En uppskattning av energibesparingspotentialen görs nedan baserat på svenska kontorslokaler, då fastighetsägare och förvaltare av denna typ av lokaler anses utgöra en potentiellt intresserad mottagare av resultaten från sensoriska belysningsbedömningar för att förbättra såväl ljuskvalitet som ljuskomfort.

Den totala ytan kontorslokaler uppgick 2004 till 34.6 miljoner m² (SCB & Energimyndigheten, 2005) och antas vara i samma storleksordning idag. En inventering genomförd av Energimyndigheten visar att av den genomsnittliga



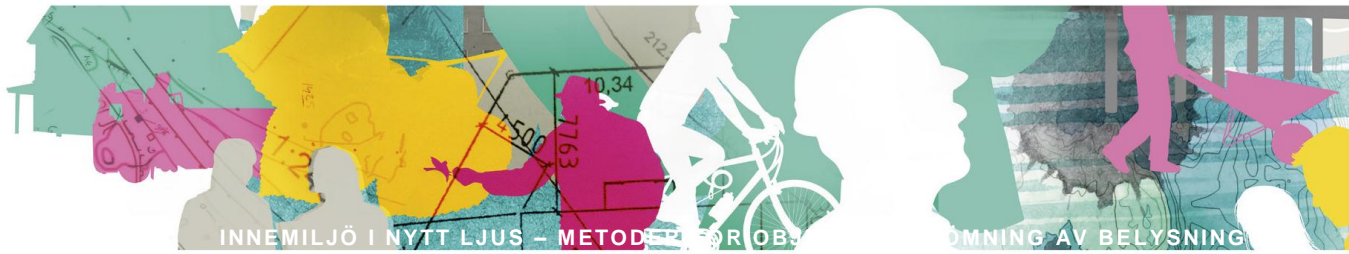
elanvändningen i kontorslokaler uppgår till 108 kWh/m², år, varav 21 kWh/m²,år utgörs av el för belysning. (Energimyndigheten, 2010). Det innebär att den totala årliga elanvändningen för belysning i kontorslokaler i Sverige idag uppgår till ca 727 GWh.

Vidare visar Dubois och Blomsterberg (2011) genom en grundlig genomgång av litteratur, mätningar och simuleringar att ett rimligt antagande för framtida energieffektiva kontorsbyggnader är 10 kWh/m²,år för belysning, vilken är en dryg halvering av elanvändningen jämfört med dagens nivå. Med 50 % energibesparing av dagens totala belysningsel innebär detta alltså en total energibesparingspotential på 363 GWh el per år.

Genom att göra metoder för mätning av upplevda belysningsegenskaper känd inom såväl belysningsbranschen som bland fastighetsägare väntas ett större fokus på ljuskomfort och välbefinnande i kommunikationen kring belysningskvalitet, liksom vid planering av nya ljusmiljöer. Detta väntas i sin tur bidra till att den betydande energibesparingspotentialen i kontorslokaler, men också i andra typer av lokaler och på sikt även i bostäder, realiseras i snabbare takt genom att acceptansen för modern energieffektiv belysning ökar, liksom möjligheterna till rätt ljus på rätt plats vid rätt tid.

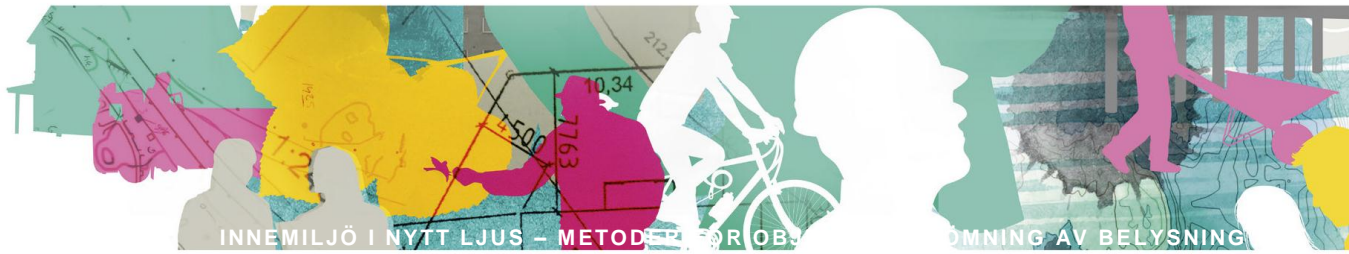
4.3 Samhällsrelevans och framtida arbete

Vid utveckling av ny belysning, beställning av nya ljusmiljöer, liksom vid kommunikation mellan belysningsbranschen och konsumenter används konventionella mått på belysningens kvalitet, såsom ljusstyrka, jämnhet och luminans. I stor utsträckning lever kvalitetsmått som relaterar till ljuskällans effekt (tex "motsvarar en 60 W glödlampa") kvar, trots att dessa inte är relevanta med modern, energieffektiv teknik. För att uppnå en bättre ljusmiljö är det troligt att även aspekter som kopplar till upplevelsen är relevanta (se t ex Galasiu och Veitch, 2006), men idag saknas både begrepp, kunskap och verktyg kring detta. I diskussioner med branschen och projektets referensgrupp har framgått att kunskapen om hur ljusupplevelsen kopplar till energianvändning idag upplevs vara begränsad i alla led. I en förlängning planeras därför den genererade kunskapen från projektet "Innemiljö i nytt ljus: metoder för objektiv bedömning av belysning" tillsammans med ett pågående doktorandprojekt kring rumslig analys av visuell och emotionell belysningskvalitet (Enger, 2016a, Enger, 2016b) vid Lunds Tekniska Högskolan vidareutvecklas, fördjupas och sammankopplas. Målet är att utveckla kommunikationsstöd och kvalitetsmärkning baserat på användarens upplevelse av belysning, vilket väntas främja förståelsen för och användningen av energieffektiva produkter. Sådana kommunikationsverktyg kring upplevd belysningskvalitet efterfrågas av såväl belysningsbranschen som beställarkåren. Representanter från ett tiotal olika branschföretag avser att delta i detta arbete. Denna typ av förankring i branschen är en förutsättning för att en utvidgad definition av ljuskvalitet ska implementeras i praktiken.



Konkret väntas kommunikationsverktyg och kvalitetsmärkning bland annat leda till:

- Konsumenten stöds i att hitta rätt bland alla de ljuskällor och armaturer som idag finns i handeln. Det leder konsumenten mot nya kvalitetsmått som inte relaterar till att ljuskällor motsvarar till exempel "en 60 W glödlampa".
- Ökad medvetenhet kring upplevelse av ljus. Jämförelse kan göras till livsmedels- och dryckesindustrins användning av sensoriska begrepp för att vägleda konsumenten.
- Ökat stöd vid upphandling och försäljning som underlättar val av rätt produkt utifrån både tekniska och visuella egenskaper, vilket väntas öka acceptansen för och främja användningen av energieffektiva belysningsprodukter.

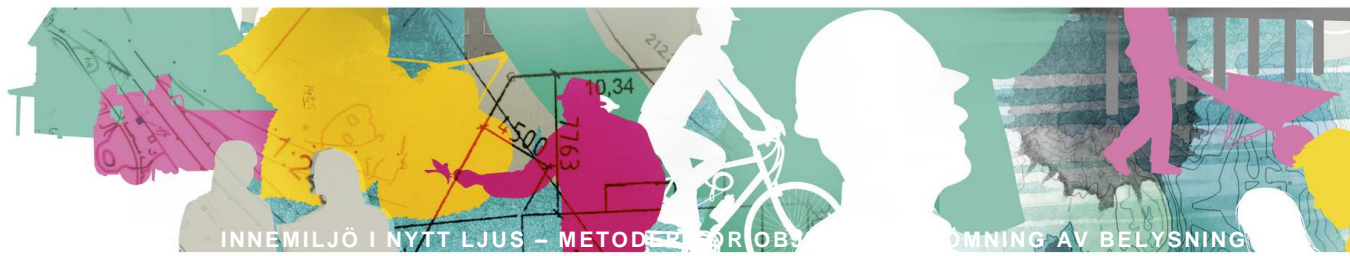


5 Slutsatser

Det här projektet har dels utvecklat en metod för att mäta den objektiva upplevelsen av belysningsprodukter med hjälp av en analytisk sensorisk panel, dels analyserat sensoriska och fysikaliska data från bedömningar i både laboriemiljö och en verklig kontext. Signifikanta skillnader kunde identifieras mellan de olika armaturerna, både vad gäller sensoriska och fysikaliska parametrar. Detta pekar på att sensoriska metoder kan tillämpas på belysning för att ge objektiv information om armaturer. Det bör noteras att de fysikaliska mätningarna och sensoriska resultaten inte alltid samvarierar. Man kan därför dra slutsatsen att ett koncept för belysningskvalitet bör beakta såväl fysikaliska som upplevda belysningsegenskaper.

Vidare erhöles likvärdiga resultat för bedömningar i laboriemiljö och i en verklig kontext (korridor), även om bedömningar i laboriemiljö resulterade i högre signifikans. Denna samstämmighet verifierar metodens tillämpbarhet genom att påvisa att samma resultat uppnås i en verklig miljö med naturliga distraktioner, samtidigt som det innebär att objektiva bedömningar även kan genomföras utanför laboriebås, exempelvis vid utvärdering av stora eller komplexa belysningsprodukter.

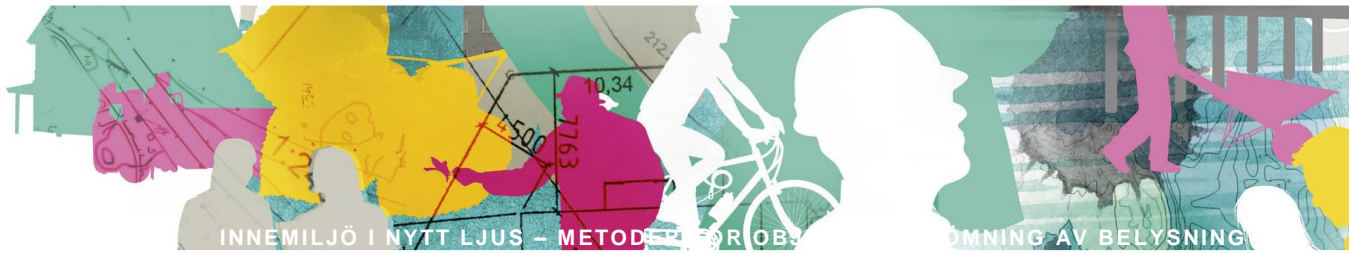
Sensoriska belysningsbedömningar ökar kunskapen om upplevda belysningsegenskaper och kompletterar traditionella fysikaliska mätningar, vilket främjar ökat användarfokus och därmed acceptansen för modern, energieffektiv belysning. Sammantaget innebär detta att sensoriska metoder kan stödja såväl utvecklingen som implementeringen av ljusmiljöer som tillgodoser både effektiv energianvändning och god ljuskomfort för brukaren.



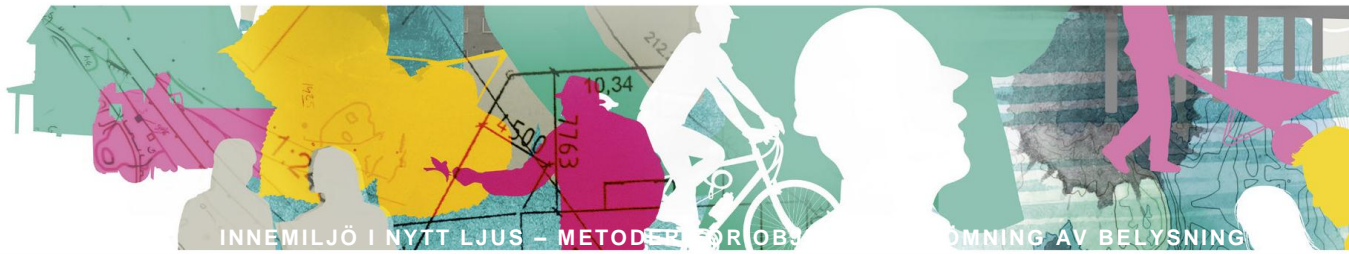
6 Publikationslista

Förutom denna rapport har projektet bidragit till följande publicerat material:

- Journalartikel: "Methods for objective assessment of lighting: User-driven development of energy efficient lighting", M. Boork, J. Nordén, M. Nilsson Tengelin, K. Wendin. Manuskript skickat till journalen Building and Environment, 10 november 2016.
- Artikel "Nytt ljus över belysningen" i Teknik;Forskning (SPs kundtidning), juni 2015.
- Artikel från TT, februari 2015, publicerad i minst 7 dagstidningar:
 - *Metro*: "Nytt slags ljus ska vara både energisnålt och gillas av folk", 2015-02-19
 - *Bohuslänningen*: "Nytt projekt ska ge bättre ljus", 2015-02-20
 - *Dagens Nyheter* (notis): "Målet är att få fram energisnål belysning som folk gillar"
 - *Laholms tidning*: "Nytt projekt ska ge bättre inomhusljus", 2015-03-26
 - *Norrbottnens kuriren*: "Nytt projekt ska ge bättre ljus", 2015-02-20
 - *Upsala Nya Tidning*: "Nytt projekt ska ge människovänligare ljus", 2015-02-19
 - *Västerbottnens-kuriren*: "Nytt projekt ska ge bättre inomhusljus", 2015-05-07.
- Radioinslag i Sveriges Radio Kronoberg, programmet Förmiddag i P4 Kronoberg, 20 februari 2015.
- Posterpresentationer:
 - Eurosense 2016 (Seventh European conference on Sensory and Consumer Research): "A light future for sensory methodology: development of sensory methods for lighting", M. Boork, J. Nordén, K. Wendin.
 - Pangborn Sensory Science Symposium 2015: "New light on indoor environments: Development of sensory methods for lighting", M. Boork, J. Nordén, N. Amiryarahmadi, C. Hiller, M. Nilsson Tengelin, R. Emardson, K. Wendin.
 - Ljusforskning i praktiken, 2015 (Energimyndighetens belysningskonferens): "New light on indoor environments: Development of sensory methods for lighting", M. Boork, J. Nordén, N. Amiryarahmadi, C. Hiller, M. Nilsson Tengelin, R. Emardson, K. Wendin.

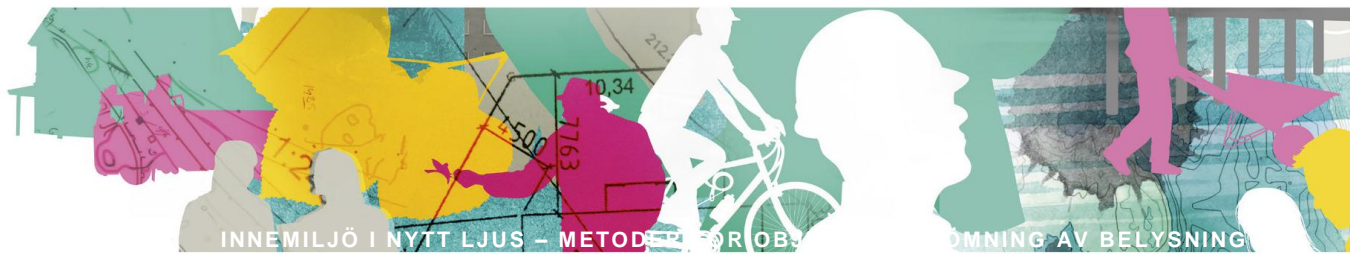


- Rapport: J. Nordén, M. Boork, K. Wendin, Development of methods for objective assessment of lighting – a pilot study, 2015. SP Report 2015:26.
- Pressmeddelande, "Forskning kastar nytt ljus över belysning", 17 oktober 2016. Spridning i bland annat följande medier:
 - *Produktaktuellt*, 17 oktober 2016 (www.produktaktuellt.se)
 - *Svensk Byggtidning*, 17 oktober 2016 (www.svenskbyggtidning.se)
 - *Nordiska Projekt Energi*, 17 oktober 2016 (www.nordiskaprojektenergi.se)
 - *expertsvar.*, 17 oktober 2016 (www.expertsvar.se)
 - *SPs Samhällsbyggnadsblogg*, 8 november 2016
<http://spsamhallsbyggnad.blogspot.se/2016/11/forskning-kastar-nytt-ljus-over.html>
- Artikel baserad på pressmeddelande från 17 oktober, "Ny mätmetod för belysning förenklar för beställaren", Svensk Byggtjänst omvärldsbevakning, publicerad 1 november 2016.

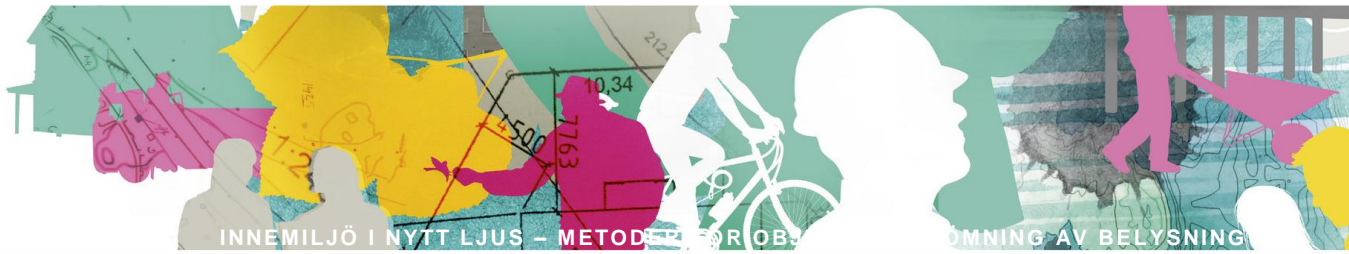


7 Referenser

- Albinsson A., Wendin K. & Åström A.: "Handbok i sensorisk analys" Reviderad version av SIK rapport 470 1981, ISBN 978-91-7290-322-7 (91-7290-322-8), 2013.
- Galasiu, A. D. & Veitch, J. A.: "Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review" *Energy and Buildings*, 38(7), 728-742.
- Berman, S. M., Navvab, M., Martin, M. J., Sheedy, J., & Tithof, W.: "A comparison of traditional and high colour temperature lighting on the near acuity of elementary school children" *Lighting Research and Technology*, 38(1), 41-49, 2006.
- Dubois, M.-C. & Blomsterberg, Å.: "Energy saving potential and strategies for electric lighting in future North European, low energy office buildings: A literature review" *Energy and Buildings* 43, 2572-2582, 2011.
- EERE: "Solid-State Lighting Research and Development Multi-Year Program Plan" 2014.
(http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2014_web.pdf)
- Energimyndigheten: "Energi i våra lokaler: Resultat från Energimyndighetens STIL2-projekt, Delrapport från Energimyndighetens projekt Förbättrad energistatistik i samhället" 2010.
- Enger, J.: "Evaluation of light experience in different spatial contexts" Lunds Universitet, 2016a.
- Enger, J.: "Visual and Emotional Experience of Light and Colour" Lunds Universitet, 2016b.
- Europeiska kommissionen: "COMMISSION REGULATION (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps" *Official Journal of the European Union*, 2009.
- Giboreau, A., Navarro, S., Faye, P. & Dumortier, J.: "Sensory evaluation of automotive fabrics: the contribution of categorization tasks and non verbal information to set-up a descriptive method of tactile properties" *Food Quality and Preferences* 12, 311-322, 2001.
- Johansson, M., Pedersen, E., Maleetipwan-Mattsson, P., Kuhn, L. & Laike, T.: "Perceived outdoor lighting quality (POLQ): A lighting assessment tool" *Journal of Environmental Psychology* 39, pp 14-21, 2014.



- Knudsen, H.K., Clausen, P.A., Wilkins & C.K., Wolkoff, P.: "Sensory and chemical evaluation of odorous emissions from building products with and without linseed oil" *Building and Environment* 42, 4059-4067, 2007.
- Kolarik, J. & Toftum, J.: "The impact of a photocatalytic paint on indoor air pollutants: Sensory assessment" *Building and Environment* 57, 396-402, 2012.
- Lawless, H & Heymann H.: "Sensory Evaluation of Food - Principles and Practices, second edition" Springer, New York, 2010.
- Navvab, M.: "A comparison of visual performance under high and low color temperature fluorescent lamps" *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(2), 170-175, 2001.
- Nordén, J., Boork, M. & Wendin, K.: "Development of methods for objective assessment of lighting - a pilot study" SP-rapport 2015:26, 2015.
- SIS, Svensk standard: "SS-EN 12464-1:2011, Ljus och belysning - Belysning på arbetsplatser - Del 1: Arbetsplatser inomhus", 2011.
- SCB & Energimyndigheten: "Energistatistik för lokaler 2004, Statistiska meddelanden EN 16 SM 0503" 2005.
- Stone, H. & Sidel, J.L.: "Sensory Evaluation Practices" Third Edition, Academic, San Diego, 2004.
- Szybinska Matusiak, B. & Fridell Anter, K. (Eds.): "Nordic light and colour 2012, Trondheim" NTNU - The Faculty of Architecture and Fine Art, ISBN 978-82-7551-091-2, 2013.
- Säter, M.: "Modell för optimerad energieffektivitet i belysningsanläggningar för cellkontor och kontorslandskap" Chalmers University of Technology, Göteborg, 2001.



Bilaga 1

Genomförda referensgruppsmöten och workshop

Inom ramen för projektet genomfördes tre referensgruppsmöten. Vid samtliga möten närvarade Thorbjörn Laike, professor inom Miljöpsykologi vid Lunds Universitet, som länge har arbetat med frågor relaterade till upplevelser av belysning, Anders Kristensson från Thorn Lighting (Zumtobel Group) som har lång och gedigen erfarenhet av arbete inom belysningsbranschen, samt Lars Kristoffersson från TetraPak, som har arbetat med sensorik och sensoriska försök inom förpackningsindustrin under lång tid. Nedan beskrivs i korthet temana och upplägg för de olika referensgruppsmötena, samt de viktigaste frågorna som behandlades vid mötena och som ledde till projektets utveckling.

I projektets slutfas genomfördes en öppen workshop, dit såväl aktörer inom belysningsbranschen som på beställarsidan och personer inom belysningsplanering bjöds in. Denna beskrivs i korthet i avsnitt 0 nedan.

Referensgruppsmöte 1

Det första referensgruppsmötet genomfördes i Borås den 9 april 2015. Fokus för mötet var att introducera sensorisk metodik för referensgruppen och att få återkoppling på det tänkta upplägget av projektet och försöksdesignen. Under dagen diskuterades bland annat:

- Utformning av urvalskriterier som paneldeltagare bör uppfylla och vilka tester som kan användas för att verifiera att dessa uppfylls.
- Om referenser (objekt i ett referensljus) skulle kunna användas vid genomförande av bedömningar. Detta ansågs dock vara komplicerat på grund av ögats adaptationstid.
- Baserat på erfarenheterna från SPs förstudie kring sensorisk belysningsbedömning fördes en diskussion kring relevanta parametrar att inkludera i bedömningar. Referensgruppen ansåg reflexer, färg och skuggningar vara särskilt viktiga. Vad gäller färg diskuterades särskilt att bedömningen bör göras på matta objekt, inte blanka. Det konstaterades även att reflex (alternativt "blänk") är en ytterst viktig parameter att beakta.
- Användning av läsplattor för genomförande av sensoriska bedömningar är vanlig och förenklar databehandlingen, men ratas i fallet med belysningsbedömningar eftersom det skulle ge upphov till ljusstörningar i båsen. Att använda papper och penna bedömdes mest rimligt. Dessa kan sedan scannas och föras in i databehandlingsprogram.



- Deltagarnas erfarenheter och förslag till genomförande av konsumenttester avhandlades för att ligga till grund för projektets utformning av enkla sådana tester.

Referensgruppsmöte 2

Projektets andra referensgruppsmöte genomfördes i Lund den 7 september 2015. Fokus för mötet var särskilt hur det multisensoriska laboratoriet i Borås utvecklats och utrustats för belysningsbedömningar, liksom den förfinade försöksdesignen. Bedömning av färg gavs ett särskilt stort utrymme vid mötet:

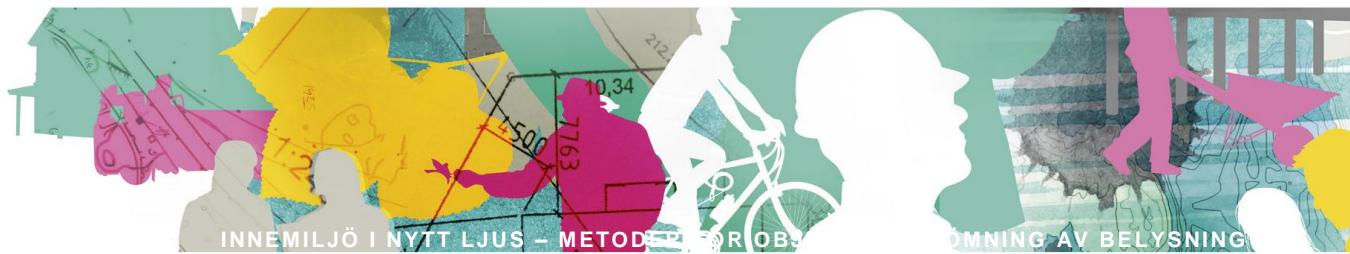
- Thorbjörn Laike hade med sig olika typer av färgprover för diskussion kring färg och delgav LTHs erfarenheter vad gäller färgbedömning. Inför genomförande av bedömningar föreslogs att olika flaggfärger skulle användas (tex Danmarks och Sveriges flagga). Ljuskåp skulle kunna användas för att skapa referensfärger att utgå från i bedömningarna, där referenserna skulle representera "mycket" på bedömningsskalan.
- Objekt för att genomföra bedömningar bör inte vara runda. Förslag på att använda ett kantigt objekt såsom en fotoram, där en enkel färgkarta placeras och en del av ramen är glasad medan den andra är utan glas för att både ha en matt och en blank yta.

Övriga diskussioner rörde:

- Försöksupplägg, där färgtemperatur och reflektorns blankhet varieras i en 2X2-design.
- Vikten av ögats adaption inför bedömningar. Ljusnivån utanför båsen och i båsen kommer att hållas konstant på 500 lux. En adaptionstid på en till tre minuter diskuterades, liksom vad paneldeltagarna kan sysselsättas med under denna tid.
- Hur och i vilken punkt bländning bör bedömas. Att titta rakt in i ljuskällan behöver undvikas.
- Läsbarhet som en parameter.
- Bedömningar i verklig kontext: Olika möjligheter presenterades och beslut togs om att ett preliminärt upplägg där försöken genomförs i en korridor.
- Konsumentundersökningar: Planerat upplägg att genomföra ett testförsök i en korridor där 5 armaturer av varje slag (totalt fyra olika) monteras efter varandra. Bedömningarna görs med 9-gradig hedonisk skala och frågorna utgår från tidigare försök (Johansson m.fl., 2013). Erfarenheter, möjligheter och fallgropar diskuterades.

Referensgruppsmöte 3

Det tredje referensgruppsmötet genomfördes i Borås den 16 mars 2016. Mötet fokuserade på de belysningsbedömningar som genomförts inom projektet, såväl metodik som resultat. Referensgruppen fick besöka det multisensoriska laboratoriet för att testa den försöksuppställning och metodik som använts inom



projektet. Diskussionerna fokuserade särskilt på förfining av metodiken, vilket inkluderar fortsatt diskussion kring hur färg kan hanteras och bedömas, samt hur sensoriska mätning av färgegenskaper kan vara värdefull för belysningsbranschen.

Hantering av större armaturer som inte kan placeras inuti båsen diskuterades. Förslagsvis kan framtida metodutveckling testa att placera stora armaturer i mitten av rummet och att pannedeltagarna gör bedömningar ute i själva laboratoriet, alternativt sittande i försöksbåsen, men vända ut från dem.

Vad gäller nyttiggörande av metodiken och dess resultat föreslog referensgruppen att på sikt utveckla en kvalitetsmärkning och ett stöd för att kommunicera objektiva upplevda belysningsegenskaper. Första steget är att etablera en samling begrepp som är relevanta för fler än enbart bedömaregruppen, för att därmed göra dem användbara i olika sammanhang och med olika typer av paneler. En kvalitetsmärkning ansågs både vara relevant för belysningsbranschen och för beställaren (fastighetsbolag, offentliga verksamheter etc.), som enklare kan verifiera att de fått vad de efterfrågat i beställningen. Målet med ett sådant verktyg kan vara att sätta andra ord och begrepp på det som står i standarderna så att kunderna förstår.

Slutligen fick referensgruppen tycka till om planerat upplägg av projektets slutworkshop.

Slutworkshop

Den 30 september 2016 genomfördes en workshop i Göteborg, vilken dels avsågs vara en slutworkshop för det projekt som rapporteras här, dels ett första avstamp för fortsatt arbete kring nyttiggörande av den metod som har utvecklats och de resultat som metoden genererar. Inbjudan till workshoppen spreds i projektets olika kanaler och nätverk, vilka inkluderar såväl belysningsaktörer och beställare som personer inom belysningsplanering. SP var huvudarrangör av workshoppen, som genomfördes i samarbete med Lunds Universitet, då SP och LTH avser att samverka i kommande arbete kring nyttiggörande. Syftet med workshoppen var dels att sprida vetskap om metoden för objektiv sensorisk belysningsbedömning, dels att involvera personer och professioner som arbetar med belysning i vidareutveckling av metoden, nyttiggörande av resultat samt utveckling av kommunikationsverktyg².

Temat för workshoppen var belysningskvalitet, då detta har identifierats vara det första område som metod och resultat kommer att vidareutvecklas inom efter projektslut. Vid workshoppen presenterades projektet *Innemiljö i nytt ljus*, den metod för objektiv (sensorisk) belysningsbedömning som har utvecklats inom projektet, samt de resultat och slutsatser som har dragits. LTHs arbete kring visuell

² Att utveckla kommunikationsverktyg är den planerade fortsättningen av projektet *Innemiljö i nytt ljus*.

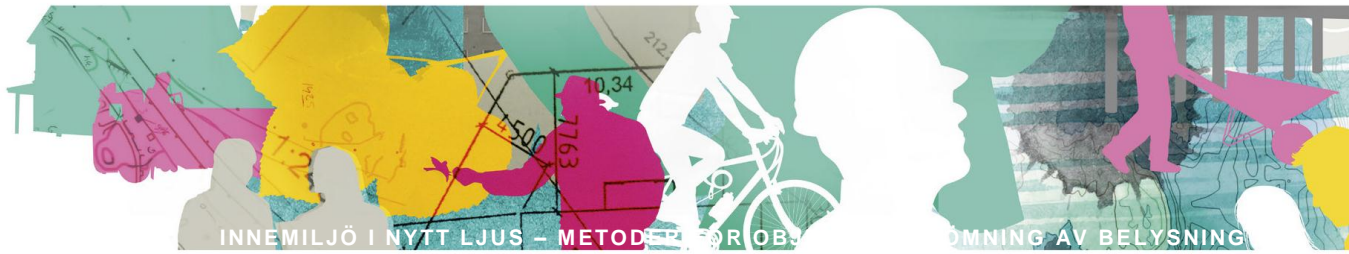
och emotionell belysningsbedömning presenterades också. Därefter fick deltagarna göra förenklade ljusprovningar, både sensoriska och visuella, för att få en ökad praktisk förståelse av metoderna, se Figur 16. I en kreativ process arbetade gruppen med att ett utökat begrepp "belysningskvalitet" som går utöver de fysikaliska ljusegenskaper som idag fångas av internationella belysningsstandarder (EN 12464) och som även inkluderar begrepp och egenskaper som kan bedömas och mätas med mänskliga paneler. Totalt deltog nio personer vid workshoppen, där representanter från såväl belysningsföretag, ljusdesigners, fastighetsägare (beställarsidan), myndigheter och forskare ingick.



Figur 16. Slutworkshop. Överst: gruppen testar objektiv sensorisk belysningsbedömning. Nederst: gruppen testar visuell belysningsbedömning. (Foto: J. Enger)

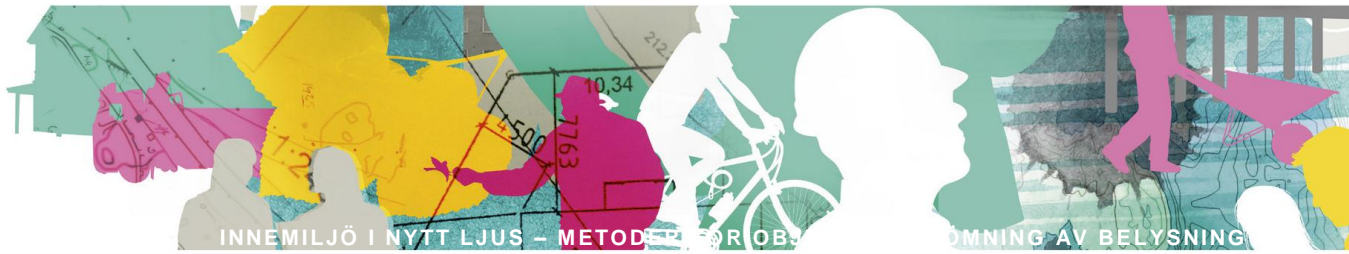
Baserat på de olika workshopdeltagarnas erfarenheter från sina professioner kan konstateras att det finns ett stort intresse för och nytta av nya metoder att mäta upplevda belysningsegenskaper, ett utökat kvalitetsbegrepp samt nya kommunikationsverktyg. Ett urval av viktiga punkter från diskussionerna som projektgruppen tar med sig till kommande arbete är:

- Förslag på kompletterande ljusegenskaper att bedöma objektivt i laboratorium, och som även bör vara relevanta vid utveckling av ett kommunikationsverktyg:
 - o Ljusbild/ljuskäglans karaktär



- Utökade skugggenskaper, exempelvis skarpa, diffusa, multipla, samt skuggornas riktning.
- Ljusets påverkan på material, exempelvis infärgning från/ på ytmaterial, smittning från reflektioner
- Ljusets påverkan på väggens struktur
- Ljutfärg (baserat på Anders Liljefors arbete, se exempelvis www.belysningsbegrepp.se), där rum, plats och placering påverkar kontrast och upplevelse.
- Beställarsidan upplever en svårighet att förstå vad de tekniska parametrarna innebär i praktiken och önskar verktyg som dels tillhandahåller bilder över situationer, dels kategorisering efter lämpligt tillämpningsområde. Det senare är dock ej trivialt att inkludera i ett kommunikationsverktyg. Kulturella skillnader bör beaktas.
- Ett framtida kommunikationsverktyg föreslås:
 - Kompletteras med bilder som stödjer beställaren vid planering av ljusmiljö, exempelvis grafik som är enkel att förstå för både beställare och tillverkare (WSP har börjat utveckla sådan grafik).
 - Stödja fokus på att beskriva situationen, för att därefter välja armaturer och ljuskällor för att uppnå den beställda ljusmiljö (i kontrast till att som idag definiera exakta produkter i planeringsstadiet, vilka ofta inte längre finns i tillverkarnas sortiment vid tidpunkten för implementering).
 - Ta inspiration av Systembolagets klockor.

Den återkoppling och de idéer som kom upp under slutworkshoppen kommer att användas dels i vidareutvecklingen av sensoriska metoder för belysningsbedömning, bland annat genom att nya ljusegenskaper kommer att testas och bedömas i kommande laboratorieförsök, dels i den utveckling av kommunikationsverktyg kring belysningskvalitet som planeras genom att dessa tas i beaktande vid formulering av koncept och de kvalitetskategorier/egenskaper som definieras.



Bilaga 2 Bedömningsformulär belysning

BELYSNING NR:

Bedöm hur du uppfattar belysningen genom att ange i vilken grad du håller med om de angivna påståendena:

1. Jag upplever att belysningen är skarp!

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Håller inte alls med Håller helt med

2. Jag upplever att belysningen är kall!

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Håller inte alls med Håller helt med

3. Jag upplever att belysningen är onaturlig!

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Håller inte alls med Håller helt med

4. Jag upplever att belysningen flimrar!

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Håller inte alls med Håller helt med

5. Jag upplever att belysningen är ojämn!

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

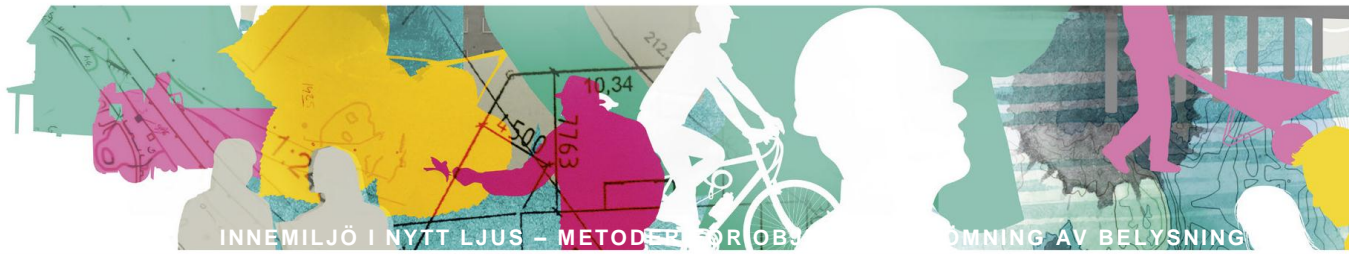
Håller inte alls med Håller helt med

6. Jag upplever att jag gillar belysningen!

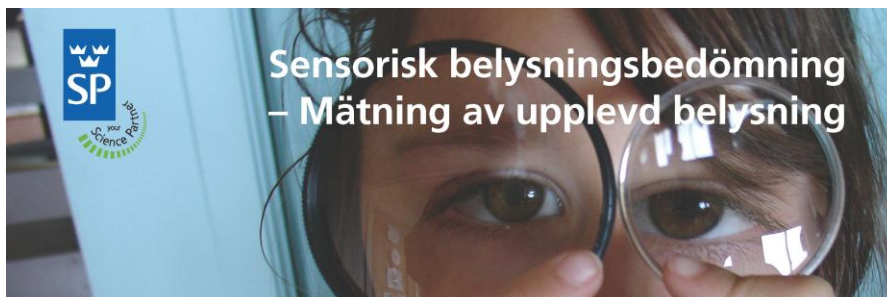
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Håller inte alls med Håller helt med

Tack för din medverkan!



Bilaga 3 Informationsblad med kortfattad guide till metoden



Sensorisk belysningsbedömning – Mätning av upplevd belysning

■ Vad?

En metod för att mäta **upplevda belysningsegenskaper** hos ljuskällor och armaturer. Kompletterar kunskapen om belysningens fysikaliska egenskaper.

■ Varför?

Ökat fokus på **upplevelse** och **ljuskomfort** som kompletterar information från fysikaliska ljusmätningar (ljusstyrka och jämnhet).

■ För vem?

Beställaren – får kunskap om önskvärda egenskaper hos belysning och ljusmiljöer. Detta ger nöjda användare!

Leverantören – kan sätta mätvärden på upplevda belysningsegenskaper. Detta gör att man kan sätta fingret på vad som är viktigt för att produkter ska vara attraktiva!

■ Var?

Metoden utförs i **laboratorium** (för tydligast resultat). Metoden kan även användas i olika tillämpningsmiljöer.

■ När?

Metoden används vid **produktutveckling och innovation** - när du vill veta hur produkter upplevs och vilka egenskaper det är som styr vad konsumenterna gillar!

■ Hur?

Metoden utförs med hjälp av en **panel med människor med väl utvecklade sinnen**. Panelen tränas i att objektivt bedöma upplevda belysningsegenskaper.

Resultaten **analyseras statistiskt tillsammans med fysikaliska mätvärden** – och ger kunskap om produkters egenskaper.

Genom att **inkludera konsumenttester** i analysen får du information om vilka egenskaper som styr vad konsumenterna gillar. Du får då kunskap om vad som ger attraktiva produkter och ljusmiljöer.



Kontaktpersoner

Magdalena Boork
010-516 58 39
magdalena.boork@sp.se

Karin Wendin
010-516 59 24
karin.wendin@sp.se

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Energi och Bioekonomi
Box 857, 501 15 Borås
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@sp.se, www.sp.se

SP, Swedish ICT och Invention gärsamman i RISE för att skapa en samlad institutsektor och bli en starkare innovationspartner för näringsliv och samhälle. Under 2017 byter vi namn till RISE. Läs mer på www.ri.se

PART OF
RISE



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 genomförs i samverkan mellan IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten åren 2013-2017. Läs mer på www.E2B2.se.