

BRITTA LEVIN, SUSANNA NILSSON, HANS KARIIS



Britta Levin, Susanna Nilsson, Hans Kariis

# Visuell signatur för skolflygplan

För maximal synbarhet

Titel	Visuell signatur för skolflygplan
Title	Visual Signature for Trainer Aircraft
Rapportnr/Report no	FOI-R--4936--SE
Månad/Month	Februari
Utgivningsår/Year	2020
Antal sidor/Pages	46
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde	Sensorer och signaturanpassning
FoT-område	Sensorer och signaturanpassningsteknik
Projektnr/Project no	E72432
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
Ansvarig avdelning	Ledningssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen

Bild/Cover: Britta Levin och Susanna Nilsson, FOI

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

## Sammanfattning

Flygregler för flygning under dagtid bygger på att piloten nyttjar visuell sökteknik för att uppmärksamma andra flygplan och på så sätt undvika kollisioner. Ett sätt att underlätta för piloter att se andra flygplan i omgivningen är att öka den visuella signaturen hos flygplan generellt.

Med tanke på kommande anskaffning av skolflygplan för grundläggande flygträning gav Försvarmakten ett uppdrag till FOI att utreda lämplig färgsättning för maximal synbarhet. Den huvudsakliga frågeställningen var: vilken färg ska användas för att ge så hög synbarhet som möjligt för att på så sätt underlätta visuell kontakt mellan flygplan inom samma övning och under varierande ljus- och väderförhållanden.

En litteraturgenomgång visade att det är flera faktorer som påverkar valet av färg men synbarhet har sällan varit en avgörande faktor för färgval historiskt eller internationellt sett. Ofta har istället faktorer som rör kostnader för underhåll eller färg som symbol eller identitetsmarkör (exempelvis nationens färger) avgjort färgval.

För att komma fram till lämpliga färger för maximal synbarhet i en svensk kontext genomfördes ett experiment med sju färgprover (röd, orange, gul, grön, blå, violett och vit) och sju bakgrunder som motsvarade mark och himmel.

Med utgångspunkt från försöket, i kombination med det som sagts i litteraturen, förordas användning av två färger. Förslaget är orangeröd ovansida och mörkblå undersida för att fungera mot så många olika bakgrunder som möjligt.

Nyckelord: visuell signatur, skolflygplan, synbarhet, flygplansfärg, grundläggande flygutbildning

## Summary

Daytime flight rules are based on the pilot using visual search technologies to observe other aircraft and thus avoid collisions. One way to make it easier for pilots to detect other aircraft is to increase the visual signature of aircraft in general.

With regards to the upcoming acquisition of new trainer aircraft for basic flight training, the Swedish Armed Forces commissioned the Swedish Defence Research Agency (FOI) to investigate, and suggest an appropriate colour scheme for maximum visibility. The main question was: what colour should be used to provide as high visibility as possible in order to facilitate visual contact between aircraft taking part in the same exercise and under varying lighting and weather conditions.

A literature review revealed several factors that influence the choice of colour, but visibility has not necessarily been the main factor guiding choice of aircraft colour historically or internationally. In order to arrive at suitable colours for maximum visibility in a Swedish context, an experiment was conducted. The experiment included seven colour samples (red, orange, yellow, green, blue, violet and white) and seven backgrounds corresponding to ground and sky.

Based on the experiment, in combination with what has been said in the literature, the use of two colours, orange red top and dark blue underside, is recommended as it is expected to work against as many different backgrounds as possible.

**Keywords:** visual signature, visibility, trainer aircraft, aircraft colour scheme, basic flight training

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning .....</b>	<b>7</b>
1.1	Bakgrund.....	7
1.2	Frågeställning och nedbrytning av uppdraget .....	7
1.3	Typsituationer .....	8
1.4	Omfattning och avgränsningar med avseende på färgval .....	9
1.5	Disposition .....	9
<b>2</b>	<b>Teori.....</b>	<b>10</b>
2.1	Vad är färg? .....	10
2.2	Synbarhet – förmågan att upptäcka objekt.....	11
2.3	Definition av begrepp relaterat till färg.....	12
2.4	Kontrast.....	14
2.5	Färg för ökad synbarhet.....	15
<b>3</b>	<b>Flygplan och färg .....</b>	<b>16</b>
3.1	Flygplans synbarhet.....	16
3.1.1	Färg och synbarhet.....	16
3.1.1.1	Vilka färger ökar synbarhet? .....	17
3.1.1.2	Om en färg – vilken? .....	18
3.1.2	Mönster och synbarhet .....	19
3.1.2.1	Användning av fluorescerande färg för synbarhet .....	20
3.1.2.2	Färgkombinationer på propellrar och rotorerna .....	20
3.1.3	Invändningar mot användning av fluorescerande färg .....	21
3.1.4	UAVer och synbarhet.....	23
3.1.5	Synbarhet i vägtrafik .....	23
3.2	Färger som använts av svenska flygvapnet.....	24
3.3	Färger som används internationellt .....	27
3.4	Ett specialfall av synbarhet: uppsamlingsflyg.....	29
<b>4</b>	<b>Metod för genomfört försök.....</b>	<b>30</b>
4.1	Försöksuppställning.....	30
4.1.1	Val av färgprover.....	30
4.1.2	Utrustning och stimuli.....	31
4.2	Genomförande .....	33
4.2.1	Deltagare.....	33
4.2.2	Procedur.....	34
<b>5</b>	<b>Resultat och analys .....</b>	<b>35</b>
5.1	Bearbetning av data.....	35
5.2	Skattning av enskild kontrast.....	36
5.3	Rangordning av kontrast och preferens .....	38
5.4	Samband och viktning .....	39
<b>6</b>	<b>Diskussion och rekommendationer .....</b>	<b>40</b>

6.1 Faktorer som påverkar färgval .....	40
6.2 Litteraturstudien .....	40
6.3 Genomfört försök .....	41
6.4 Slutsatser med avseende på typsituation 1 .....	42
6.5 Förslag till fortsatt verksamhet.....	42
<b>Referenser .....</b>	<b>43</b>
<b>Bilaga .....</b>	<b>46</b>

# 1 Inledning

Försvarmakten har gett FOI i uppdrag att, inför kommande anskaffning av skolflygplan för grundläggande flygträning, utreda lämplig färgsättning för maximal synbarhet.

## 1.1 Bakgrund

Flygregler för flygning under dagtid bygger på att piloten nyttjar visuell sökteknik för att uppmärksamma andra flygplan och på sätt undvika kollisioner. Ända sedan 50-talet har det pågått vetenskapliga diskussioner inom området visuella söktekniker (Morris och Porter Horne, 1959). Ett sätt att underlätta för piloter att se andra flygplan i omgivningen är att öka den visuella signaturen, eller synbarheten, hos flygplan generellt. Synbarheten hos flygplan kan ökas dels genom aktiva tekniker som strålkastare och andra visuella signalsystem och dels genom valet av färger på flygplanet.

## 1.2 Frågeställning och nedbrytning av uppdraget

Den huvudsakliga frågeställningen var: vilken färg ska användas för att ge så hög visuell signatur som möjligt för att på så sätt underlätta visuell kontakt mellan flygplan inom samma övning och under varierande ljus- och väderförhållanden.

Uppdraget bröts ned i följande deluppgifter:

- Definition av ytterligare frågeställningar.
- Tolkning av uppdraget i relation till en eller flera typsituationer.
- Prioritering av typsituationerna.
- Litteratursökning för att kartlägga vad som gjorts inom området (fokus på synbarhet för flygplan).
- Informationsinhämtning från exempelvis Flygvapenmuseet i Linköping.
- Spänna upp utfallsrummet, morfologisk analys, för prioritering.
- Empirisk studie av färgval genom försök med representativa deltagare.

Underlaget för arbetet har baserats på en beskrivning av grundläggande behov av synbarhet med avseende på nästa generations skolflygplan, samt möten och diskussioner med representanter från Flygstaben, Flygskolan (Flyg S) och FMV Test & Evaluering.



## 1.3 Typsituationer

De typsituationer som varit utgångspunkten för arbetet med att ta fram en lämplig metod och upplägg för försöket som ligger till grund för rekommendationerna i den här rapporten är följande:

- Typsituation 1 (prioriterat fall):
  - Avstånd 10–100 m. Även avstånd 200 m ingår för att säkerställa att färgen även fungerar utanför prioriterat intervall.
  - Aspektvinkel: från sida, nedifrån och uppifrån.
  - VFR<sup>1</sup>, väder reduceras till siktförhållanden.
  - Dagsljus på gräns till skymning.
  - Flyghöjd, 0-15000 ft.
  - Flygplansyta med approximativ längd 10 m och höjd 2,5 m.
  - Årstidens inverkan, vilka typiska bakgrunder som bör prioriteras.

Två ytterligare typsituationer identifierades men dessa omfattas inte av nuvarande uppdrag:

- Typsituation 2:
  - Avstånd 10-2000 m.
  - VFR+IFR<sup>2</sup>.
  - Andra flyghöjder.
- Typsituation 3:
  - Mörkerkapacitet (NVG<sup>3</sup>).

---

<sup>1</sup> Visual Flight Rules

<sup>2</sup> Instrument Flight Rules

<sup>3</sup> Night Vision Goggles

## 1.4 Omfattning och avgränsningar med avseende på färgval

Den övergripande frågeställningen för arbetet som beskrivs i denna rapport rör synbarhet i fallet elever som flyger rote i Sverige klimat. Målsättningen med arbetet har varit att:

1. Ta fram förslag på färg som fungerar för hela flygplansytan.
2. Ta fram förslag på färg för optimal synbarhet mot mark (målas på överdelen av flygplanet) respektive mot himmel (målas på underdelen av flygplanet).
3. Ta fram en rangordning av ett antal potentiella färgkandidater och/eller kombinationer av dessa.

Syftet med arbetet som beskrivs i denna rapport har varit att svara på dessa tre punkter genom att dels studera vad andra tidigare har gjort inom området visuell signatur på flygplan, dels genom ett försök för att studera lämpliga färger för maximal synbarhet i en svensk kontext. Studien som redovisas i denna rapport är inte heltäckande och har genomförts med utgångspunkt i det underlag (FOI Reg nr: FOI-2019-464:8) som ligger till grund för uppdraget. Detta innebär att denna rapport inte har tagit hänsyn till typscenarier som inkluderar instrumentflygning eller taktisk flygning. Bedömningarna av färg har genomförts med blotta ögat utan användning av visir eller annan utrustning. Ytterligare avgränsningar avseende färgval inkluderar att vit färg inte är relevant då det redan är känt att detta inte är en lämplig färg för synbarhet vid flygning i exempelvis moln. Svart är inte heller en kandidat då denna färg bland annat resulterar i ökad temperatur i skrovet som påverkar flygplanet på ett negativt sätt.

## 1.5 Disposition

Rapporten är uppdelad i sex kapitel där detta inledande kapitel beskriver bakgrunden till uppdraget, samt frågeställningar och avgränsningar som ligger till grund för det arbete som genomförts. Kapitel 2 innehåller teoretiska avsnitt som ger en introduktion till färg och färguppfattning som syftar till att ge en förståelse för kommande diskussioner om val av färg. I kapitel 3 ges sedan en introduktion till användning av färg på flygplan och de färger som rekommenderas för synbarhet inom den identifierade vetenskapliga litteraturen. Kapitlet innehåller även en kort genomgång med exempel på färger som använts historiskt på skolflygplan inom Försvarmakten, samt exempel på färger som används på skolflygplan internationellt. Kapitlet avslutas med en sammanfattning av de rekommendationer som identifierats i litteraturen avseende färg för ökad synbarhet hos flygplan. Kapitel 4 beskriver metoden för försöket som genomförts för att rangordna färgval för maximal synbarhet på flygplan, vars resultat sedan redovisas i kapitel 5. Det avslutade kapitel 6 diskuterar resultatet samt ger rekommendationer för färgval till framtida träningsflygplan.

## 2 Teori

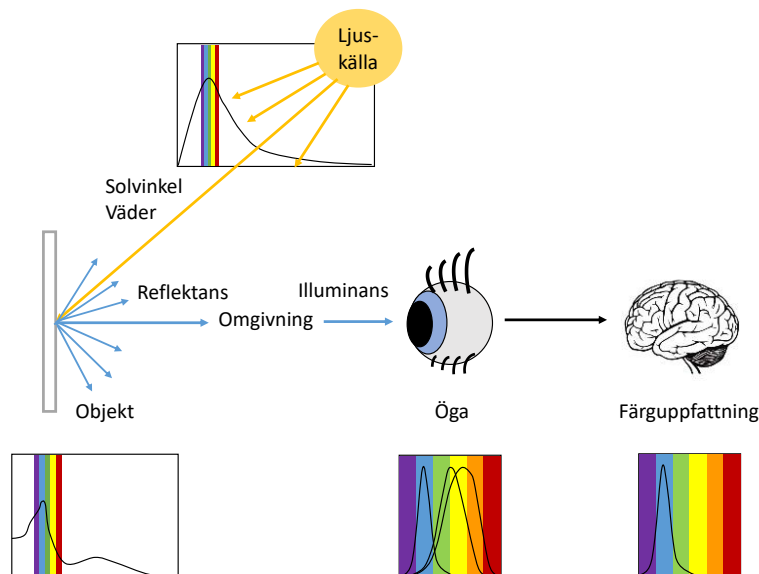
Människans öga och hjärna har en fantastisk förmåga att hantera stora förändringar i ljusets intensitet och frekvensinnehåll. Färg kan tyckas vara elementärt men det är i själva verket mycket komplext. Om det inte vore för hjärnans avancerade processer skulle vi uppfatta en och samma ”färg” som väldigt olika beroende på situationen. Det finns ett antal fenomen som påverkar färguppfattningen på så sätt att de bör beaktas i samband genomförande av försök såväl som för val av färg för skolflygplan.

Kapitlet redogör kortfattat för fysiken bakom färg, vanliga begrepp som används för att beskriva upplevelsen av färg och ett urval av fenomen som är relevanta för maximal synbarhet.

### 2.1 Vad är färg?

Upplevelsen av färg är resultatet av en process där det inkommande ljuset först behandlas av ögat för att därefter tolkas av hjärnan. Mer specifikt är färgförminnelsen produkten av ljuskällans spektrala sammansättning, objektets spektrala reflektans, omgivningens påverkan, ögats spektrala respons samt hjärnans bearbetning. Med spektral fördelning menas ljusets uppdelning i olika våglängder. Eftersom omgivningen är dynamisk kommer frekvensinnehållet i det inkommande ljuset att variera stort över tid och rum (Billmeyer och Saltzman, 1981). Upplevelsen av ett flygplans färg i luften (Figur 1) beror således av:

- Solens höjd på himlen och årstid, vilket avgör intensiteten (dag, skymning, natt) men också den spektrala sammansättningen, såsom hur mycket av ljuset som sprids i atmosfären.
- Hur den färg som flygplanet är målat med sprider och reflekterar solljusets olika våglängder.
- Vad och hur mycket som finns i luften mellan flygplanet och betraktaren (såsom nederbörd, dimma och dis).
- Ögats funktion som sensor, det sätt som ljuset översätts till nervsignaler.
- Hur hjärnan tolkar inkommande signaler och skapar ett bildinnehåll.



Figur 1. Illustration av faktorer som inverkar på färguppfattningen.

Ytans beskaffenhet avgör i vilken utsträckning den släpper igenom ljus och på vilket sätt det reflekterade ljuset sprids (diffust eller riktat). Alla ytor reflekterar ljus till någon grad, vilket gör att vi kan se dem även om de själva inte strålar ut något ljus. Principiellt finns det två typer av reflektion: a) *diffus* som inträffar när ljuset möter en skrovlig yta som sprider ut ljuset i alla möjliga riktningar och b) *spekulär/spegelreflektion* som inträffar när ljuset träffar en slät yta och ljuset reflekteras ut med samma vinkel som det träffade ytan men åt motsatt håll (Billmeyer och Saltzman, 1981). I det senare fallet kommer även en bild ses i det reflekterade ljuset. Det finns även en tredje typ av reflektion som inträffar när en yta är manipulerad så att den reflekterar ljuset tillbaka där det kom ifrån. Denna typ av reflektion kallas *retroreflektion* och det är denna typ av reflektion som används i exempelvis reflexmaterial (retroreflektivt material) som används för att öka synbarheten i uttrykningsfordon (FEMA, 2009).

En färg kan ha inslag av reflekterande partiklar som ger den ett metallisk utseende eller vara irridicerande (pärlemor) där betraktningens vinkeln påverkar upplevelsen (Billmeyer och Saltzman, 1981).

## 2.2 Synbarhet – förmågan att upptäcka objekt

Ett begrepp som används för att förklara hur människor kan upptäcka objekt relativt deras omgivning är ”synbarhet” eller ”diskriminerbarhet” (eng. *conspicuity*) som innefattar ett objekts förmåga att dra till sig uppmärksamhet, det vill säga inte bara vara synlig utan även att upptäckas av en betraktare (Wulf et al., 1989). Cook et al. (1999) definierar synbarhet som ett föremåls ”förmåga att dra uppmärksamhet till sin närvaro, även när andra inte aktivt letar efter det”.

Människans utveckling har styrts av behoven att hitta föda och undvika hot, det har varit viktigt att kunna identifiera objekt. Denna utveckling har resulterat i ett öga där hög skärpa inom ett relativt litet centralt område kombineras med ett stort perifert seende med god förmåga att upptäcka rörelse. Vi har också fått god möjlighet att verka i dagsljus och kan nyttja den spektrala variationen till att uppfatta färger (Bruce et al., 1996).

Näthinnans receptorer består av ljuskänsliga stavar (som används vid låg belysning) och tre typer av tappar (blå, grön och röd) med varierad känslighet för olika delar av synliga ljusspektra. Förmågan att se ett stort antal olika färger är ett resultat av att de våglängdsområden där respektive tapp har ökad känslighet överlappar varandra. En inkommande ljuspuls med en viss våglängd kan således komma att stimulera flera typer av tappar samtidigt men med olika intensitet, vilket bäddar för möjligheten att urskilja ett stort antal nyanser (Hunt och Pointer, 2011).

Näthinnans neuroner har kopplingar till sina grannar vilket innebär att det sker både lokala och globala justeringar av inkommande information. Det är dessa komplexa mekanismer som ligger bakom vår förmåga att hantera stora skillnader i intensitet i scenen. Även om ögat registrerar ljuset i scenens alla punkter vidarebefordras inte informationen i sin helhet till hjärnan. I själva verket sker en bearbetning i näthinnans neuroner som prioriterar den information som hjärnan behöver för att identifiera objekt och skapa en helhetsuppfattning om vad som sker runt omkring. Funktionen kan ses som ett filter där tydliga förändringar i scenen skickas vidare medan långsamma förändringar sorteras bort (Bruce et al., 1996). Detta betyder att förmågan att se kontrast värderas högre än absolut uppfattning om intensitet och färg. Ett exempel på färgers betydelse är den universella förmågan att namnge primärfärger och den lika stora oförmågan att klassificera absoluta nyanser.

Att det finns brister i den information som kommer från ögat hanteras av hjärnan som har strategier för att ”återskapa” scenen i den utsträckning som anses nödvändigt. När syncentrum saknar information kompenserar hjärnan genom att fylla i det som behövs för att skapa en komplett ”bild” av omgivningen. Resultatet är att vi egentligen inte ser det vi tror oss se (Davidoff, 1975) vilket i de flesta fall inte spelar någon större roll. Vi blir i allmänhet endast varse att hjärnan luras när vi betraktar bilder som är till för att framkalla optiska illusioner.

Ögats hantering av kontrast gör det möjligt att upptäcka även mycket små föremål om förutsättningarna är gynnsamma. En upplösning på en bågminut (en sextiondels grad) (Boff och Lincoln, 1988) betyder att en människa under optimala förhållanden kan urskiljas på ett avstånd av tre kilometer. Däremot kan denna ”bearbetning” av små objekt leda till att färgen ”försvinner” eller mattas av och blir grå. I det fall att näthinnan inte nås av ljusstimulus uppfattas omgivningen som grå och inte svart, vilket tyder på att näthinnans ”grundinställning” motsvarar grå färg (Geldard, 1953).

Känsligheten för ljus och färg beror av ögats fördelning av stavar respektive tappor och deras känslighet inom olika intervall. De ljuskänsliga stavarna har högst känslighet i det blågröna området (500 nm) medan de färgkänsliga tapparna har sitt maximum i det gulgröna (560 nm) (Boff och Lincoln, 1988). När mörkret tilltar (mesopiska området) minskar tapparnas bidrag generellt men kvarstår längst i det blågröna området. Detta innebär att den röda färgen tenderar att försvinna i låga ljusnivåer. Fenomenet kallas purkinjeeffekten (Ernsting et al., 1999) och är relevant med tanke på det begränsade ljuset som förekommer vid skymning och under en mulen vinterdag i december/januari.

## 2.3 Definition av begrepp relaterat till färg

Färger preciseras ofta med koder som refererar till något etablerat färgsystem (Boff och Lincoln, 1988). Exempel på vanliga färgsystem är RGB (Red, Green and Blue) som används för presentation på bildskärmar, CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) som nyttjas för trycksaker, NCS<sup>4</sup> (eng. Natural Color System) som är ett internationellt färgbeteckningssystem med bred användning inom färgsättning och CIE<sup>5</sup> (fr. Commission Internationale de l'Éclairage) är internationell belysningskommission för standardisering inom området ljus och belysning. Vissa begreppsförvirring råder dock som dessutom förstärks av att engelska begrepp som relaterar till färg ibland saknar direkt svensk motsvarighet.

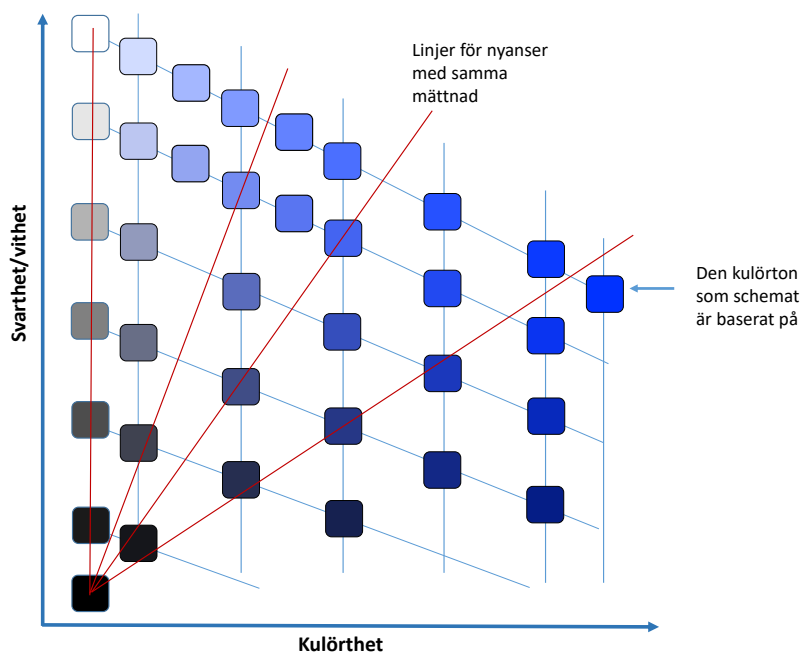
En färg kan entydigt beskrivas genom att ange dess kulörton och nyans. Kulörtonen (eng. hue) beskriver vilken färgfamilj som färgen tillhör, dvs. vilken kombination av elementarfärger (rena färger) som färgen består av. Nyansen är i sin tur en kombination av färgens innehåll av grått (eng. value eller lightness) och dess kulörthet (eng. chroma). (Billmeyer och Saltzman, 1981)

NCS-systemet baseras på fyra elementarfärger (blå, grön, röd och gul) samt vitt och svart. Figur 2, som är baserad på NCS-systemet, illustrerar hur den rena kulörtonen R80B (betyder rött med 80 % blått) förändras beroende på dess inblandning av svart (vertikal axel) och dess pigmentering (horisontell axel). Kulörthet och svart/vithet är relativa begrepp som anger hur kromatisk respektive grå en färg uppfattas jämfört med en vit yta under samma belysning. Detta innebär att dessa begrepp är i stort sett invarianta i dagsljusförhållanden (Billmeyer och Saltzman, 1981).

Såsom illustreras i Figur 1 beror upplevelsen inte bara av typen av belysning utan även dess intensitet. Ett färgsystem som NCS tar dock inte hänsyn till intensiteten i det ljus som härrör från ett objekt. För att beskriva hela den perceptuella upplevelsen behöver två ytterligare begrepp införas: färgens upplevda ljusstyrka (eng. brightness) och färgrikedom (eng. colorfulness) (Billmeyer och Saltzman, 1981).

<sup>4</sup> <https://ncscolour.com/sv/about-us-2/sa-fungerar-ncs-systemet/>, hämtat november 2019

<sup>5</sup> <http://www.cie.co.at/>, hämtat november 2019

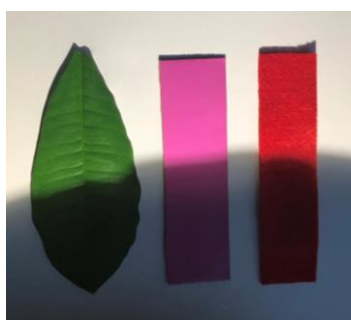


Figur 2. Schematisk illustration av variation i nyans för kulörton R80B.

I färgsammanhang används ljusstyrka som ett subjektivt mått för att ange hur mycket ljus som strålar ut eller reflekteras från en yta. Färgrikedom är ett absolut mått som beskriver hur kromatisk en färg är och ökar med belysningens intensitet tills en takeffekt uppstår (Billmeyer och Saltzman, 1981).

Begreppet färgmättnad (eng. saturation) används i många olika betydelser och brukas ofta i dagligt tal som ett mått på kulörthet. Inom kolorimetri (metodik för att bestämma färger och färgskillnader) anger mättnaden förhållandet mellan färgrikedom och färgens ljusstyrka eller mellan kulörthet och svarthet/vithet (Billmeyer och Saltzman, 1981). De röda linjerna i Figur 2 representerar färger med samma mättnadsgrad.

Figur 3 är ett exempel på hur upplevelsen av en ytas färg förändras med mängden infallande ljus. Färgernas intensitet påverkas medan uppfattningen om kulörtonen är densamma. Om det inte vore så skulle vi till exempel uppfatta att föremål byter färg när vi förflyttar oss från utomhus till inomhusmiljö eller att ett föremål plötsligt blivit två när ena delen befinner sig i skugga. Fenomenet kallas färgkonstans (eng. color constancy) (Bruce et al., 1996).



Figur 3. Ytorna har samma färg, (dvs, samma färgton och nyans) men den belysta delen uppfattas både ljusstarkare och färgrikare än den som befinner sig i skugga.

På samma sätt kommer uppfattningen av färgerna i schemat i Figur 2 att förändras med belysningens styrka trots att "färgen" hela tiden är densamma.

Begreppet ljusstyrka är särskilt användbart för att beskriva en yta som sänder ut ljus eller reflekterar mer än vad som faller in såsom för fluorescerande färger där solens UV-ljus omvandlas till ljus i det synliga spektrumet. Luminansen är ett fysikaliskt mått på intensiteten i det ljus som sänds ut eller reflekteras i en viss riktning från en yta och relaterar i hög grad till begreppet ljusstyrka. Ytor med samma luminans men olika renhet i färg kommer dock inte att uppfattas som lika ljusstarka. Den s.k. Helmholtz-Kohlrausch effekten medför att mycket mättade färger upplevs som starkare än färger med låg mättnad när luminansen är densamma. Effekten gäller för både reflekterande och utstrålande ytor men är som tydligast för den senare (Donofrio, 2011).

## 2.4 Kontrast

Kontrast uppstår när det finns en skillnad i färg eller luminans mellan olika objekt eller mellan ett objekt och dess bakgrund. Synsinnet är mer känsligt för kontrast än absolut luminans (omgivningsljus) vilket innebär att uppfattningen om kontrast kan bibehållas vid stora förändringar i dagsljus. En effekt av näthinnans konstruktion är att uppfattningen om en färg påverkas av andra omgivande eller närliggande färger. En övergripande ändring av bakgrundens ljushet eller kulörton orsakar en komplementär förändring i uppfattad ljushet eller kulörton hos objektet. Fenomenet kallas simultankontrast (Shi et al., 2013; Ratnasingham och Anderson, 2017) och demonstreras i Figur 4 där en mörk omgivning ger intrycket av att förgrundsfärgen är ljusare och vice versa trots att förgrundsfärgen i alla tre figurerna är densamma. Eftersom näthinnans neuroner har kopplingar till varandra kan effekterna bli globala, dvs. känsligheten i hela näthinnan kan påverkas och en ljus omgivning får ett objekt att te sig mörkare. Fenomenet bidrar till öka den upplevda kontrasten och underlättar möjligheten att upptäcka flygplan mot himlen (Ernsting et al., 1999).



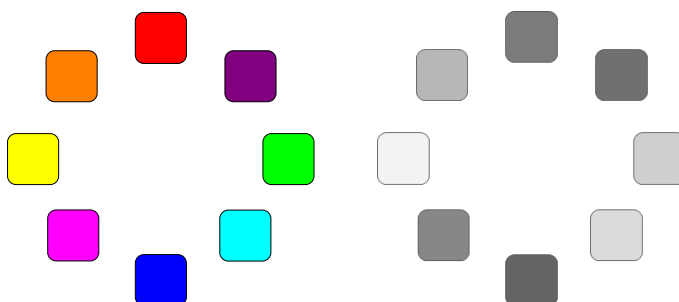
Figur 4. Simultankontrast, effekt av bakgrund på förgrundsfärg.

Beroende på kombination av objekt och bakgrundsfärg kan simultankontrasten orsaka förändring i uppfattningen av kulörton, gråhet, kulörthet och till och med storlek. Simultankontrastens inverkan på färg är som störst när de närliggande färgerna är komplementärfärger.

Ett annat fenomen är successiv kontrast som innebär att stimulering av ett område på näthinnan påverkar känsligheten för efterföljande stimulering (Barrett, 1970). Om till exempel solen skapat en bild på näthinnan kommer känsligheten i den delen av synfältet att vara lägre under en tid och minskar därmed möjligheten att upptäcka ett objekt eller flygplan.

Färgers inneboende ljushet påverkar också möjligheten att skapa kontrast. Fenomenet illustreras i Figur 5 där de rena kulörtonerna konverterats till motsvarande gråskala. Det gula fältet erhåller då en mycket ljusare grå nyans än det mörkblå, röda och lila. Detta betyder att gult och även i viss mån även andra ljusa färger i sig har en mycket sämre förmåga till kontrast mot vita eller ljusa bakgrunder (Choudhury, 2014).

Det finns olika sätt att beräkna kontrast. Webers kontrast (Pelli och Bex, 2013) är tillämpligt i detta sammanhang och beräknas som  $\frac{I-I_b}{I_b}$ , där  $I$  och  $I_b$  är objektets respektive bakgrundens luminans.



Figur 5. Illustration av inneboende ljushet.

## 2.5 Färg för ökad synbarhet

Ökad synbarhet kan även uppnås genom att välja en färg som är ovanlig i sammanhanget. Ambitionen att öka synbarhet och igenkänning för ambulansfordon har lett till EU standard med gulgrön grundfärg<sup>6</sup> i kombination med gröna fält i schackrutemönster. Den gulgröna kulörtonen ligger nära det våglängdsområde där ögat har maximal känslighet och är relativt ovanlig i trafiken. De gröna rutorna gör att ambulanserna avviker både från polisens- och räddningstjänstens fordon som är försedda med blå respektive röda fält. Beslutet har dock ifrågasatts av forskare som menar att röd-orange färg syns bäst under dagtid medan högre reflekterande vitt och silver är att föredra i mörker (Vårdfokus, 2010).

Att fluorescerande färger är lämpliga för att öka ett föremåls synbarhet i dagsljus har varit känt länge (se exempelvis avsnitt 0). Fluorescerande färger konverterar ljus av kort våglängd till en längre våglängd istället för att energin absorberas i ytan. Det innebär att ytor målade i fluorescerande färg kan utstråla mer synligt ljus än vad som träffar ytan (Billmeyer och Saltzman, 1981). Fluorescerande färger kan upplevas som upp till fyra gånger ljusare än samma färg som inte är fluorescerande (Smith, 1981). Smith (1981) beskriver skillnaden mellan en röd-orange färg som inte är fluorescerande och en som är det genom att jämföra hur de beter sig när de belyses med gul-grönt ljus. Där den icke-fluorescerande färgen ser mörkare ut under gul-grönt ljus blir den fluorescerande färgen istället klart röd-orange eftersom den konverterar det gul-gröna ljuset till röd-orange (längre våglängd). Effekten blir ännu starkare vid belysning med kortvågigt blå-violett ljus. I detta ljus blir vanlig röd-orange färg nästan helt svart, medan den fluorescerande fortfarande lyser röd-orange.

Det är särskilt i låga ljusförhållanden (skymning) och under disiga siktförhållanden som fluorescerande färger gör nytta – där andra färger blir gråare och relativt snabbt försvinner (blir svåra att uppfatta) fortsätter fluorescerande färger att utstråla synligt ljus. Detta beror på att kortare våglängder har svårare att tränga igenom exempelvis dimma, medan de längre (rödare) våglängderna som den fluorescerande ytan utstrålar bryter igenom (Smith, 1981). Det är viktigt att poängtera att ytan i sig inte skapar något ljus, den konverterar ett kortvågigt ljus som träffar ytan till ett långvågigt som utstrålas. För vissa färger gäller att den fluorescerande effekten kräver en källa som innehåller ljus i de ultravioletta våglängderna, vilket naturligt dagsljus har (Billmeyer och Saltzman, 1981).

---

<sup>6</sup> Färgkod: RAL 1016



### 3 Flygplan och färg

Färgval på flygplan har haft olika orsaker beroende på flygplanets användningsområde, men även beroende av färgens egenskaper och rent estetiska överväganden. Militära flygplan har i de flesta fall haft färger med så låg visuell signatur som möjligt, det vill säga har varit målade i någon form av kamouflage. Flygplan som flugits civilt och för kommersiella flygbolag har följt en tydlig trend från helt omålade plan till dagens nischade målning där det är flygbolagets generella grafiska profil som avgör färgval. I många fall används även flygplanskroppen som säljbar reklamplats vilket har bidragit till än mer kreativa färgval och mönsterkombinationer. Av särskilt intresse för denna rapport är främst färger som använts för att nå maximal synbarhet, med så hög visuell signatur som möjligt. På 1950- och 60-talet genomfördes ett antal studier om vilka färger som lämpar sig för att flygplan ska synas så mycket som möjligt. Detta efter att antalet krockar och incidenter i luften ökat i och med ökad mängd flygtrafik i luften (Hodgson, 1959).

För att svara på frågan om vilka färger som ger mest synbarhet på flygplan som används för träning och utbildning genomfördes således en litteratursökning med fokus på:

- Studier på flygplans synbarhet
- Mönster och synbarhet
- Färger som använts på skolflygplan historiskt i Sverige
- Färger som används på flygplan internationellt

Utöver dessa sökningar har även annan relevant litteratur legat till grund för det här avsnittet, bland annat rekommendationer för att öka synbarhet hos obemannade flygfarkoster (eng. Unmanned Aerial Vehicle, UAV) och utryckningsfordon. Resultatet redovisas i detta kapitel.

#### 3.1 Flygplans synbarhet

Syftet med att ett flygplan ska vara så synbart som möjligt i luften är främst att hjälpa piloter att undvika kollisioner. För piloter finns det två huvudsakliga ledtrådar som hjälper dem att avgöra om de är på kollisionkurs med varandra. Det ena är de olika flygplanens relativa hastighet bäring och det andra är flygplanets attityd eller läge i luften (Cook et al., 1962). Därför är det relevant att undersöka ifall flygplanets synbarhet, med hjälp av färg och mönster, skulle kunna hjälpa piloten med dessa bedömningar.

##### 3.1.1 Färg och synbarhet

Vid en konferens som hölls 1959, "Visual Search Techniques Forum" beskrevs hur det i det amerikanska flygvapnet mellan 1947 och 1958 inträffade 634 kollisioner i luften (Baker, 1959). Fyra av fem av dessa olyckor skedde under VFR-flygning dagtid och de flesta olyckorna involverade jet-flyg. Incidenter som rapporterats under perioden mellan 1959 och 1962 indikerade att majoriteten av incidenter (85 % enligt Federal Aviation Administration, 1961) i luften inträffade under plan och jämn flygning under VFR-förhållanden på höjder under 10 000 fot då sikten var över fem miles (8 km) (Siegel och Lanterman 1963). Ett program inom det amerikanska flygvapnet initierades för att minska antalet olyckor, bland annat genom träning, upprättande av nya säkerhetsrutiner och ommålning av flygplanen med orangefärgade fluorescerande markeringar. Baker (1959) skriver att antalet olyckor inom flygvapnet "minskade i takt med ommålningsprojektet".

### 3.1.1.1 Vilka färger ökar synbarhet?

Parallellt med programmet inom flygvapnet inrättade civila Federal Aviation Administration (FAA) ett forskningsprogram för att utreda möjliga lösningar kring visuellt stöd för att undvika kollisioner i luften (Federal Aviation Administration, 1961). De laboratorie- och fältstudier som genomfördes handlade om färg, exteriöra belysningsystem, rök- och ång-spår, optiska enheter, träningsprocedurer och identifiering av vilken typ av information som piloter behöver för att fatta beslut om undan-manövrar. Viktiga resultat från de här studierna var bland annat att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan färger för upptäcktsavstånd och att det är inom ett relativt begränsat intervall som färg alls spelar roll och kan identifieras. Inom detta intervall har fluorescerande färger varit mer än dubbelt så effektiva vid försöken med att identifiera färg, jämfört med icke-fluorescerande färger (Federal Aviation Administration, 1961).

Under 1958 genomfördes ett enklare synbarhetstest av Wright Air Development Center<sup>7</sup> (WADC) med observatörer på marken och i observationsflygplan (Baker, 1959). Resultaten visar att under det begränsade försöket fanns ingen skillnad i avståndet till flygplanen som observerades beroende på färg (de såg planen långt innan de kunde urskilja färgerna), däremot så upplevde observatörerna att på närmare avstånd var de målade flygplanen mycket mer iögonfallande, eller synbara (eng. conspicuous). Piloterna upplevde att färgen bidrog till upptäckt i luften och att de målade flygplanen gjorde det säkrare vid landning och taxning då det var lättare att urskilja planen. Den färg som användes under försöket var i huvudsak orange.

Under 1950- och 60-talet genomfördes även studier för att undersöka vilka färger som gav maximal synbarhet för sjöflygplan (Malone et al. 1951 i Crosley et al., 1972). Problemet man stod inför var dels att flygplanen skulle vara synliga från marken för personer i nöd, dels att flygplanen skulle vara synliga vid eftersökning från luften när planen fanns på marken (efter exempelvis nödlandning).

Hodgson (1959) genomförde en generell studie av färg och synbarhet och genomförde experiment för att se vilken roll färg och luminanskontrast spelar för upptäckt och identifiering av flygplan. Studien genomfördes genom att plan målades i olika färger och observerades visuellt (med och utan kikare) från marken, samt via radar och från ett flygplan som fotograferade. Resultatet av studien blev ett par principer för hög synlighet:

- Maximera luminanskontrast relativt bakgrund genom att använda svart färg på områden som normalt är skuggade och ljus färg på områden som är solbelysta. Det vill säga, undersidan på vingarna och flygplanskroppen och områden som normalt skuggas av vingarna ska målas svart, medan ovansidan på vingarna och kroppen bör målas vita.
- Använd ”onaturliga färger” (fluorescerande röd eller orange) på ett eller två relativt stora områden som vanligtvis träffas av solljuset (ger ingen skillnad utan direkt solljus).

1961 genomfördes en laboratoriestudie för att undersöka mer specifikt var på flygplanskroppen den fluorescerande färgen borde målas för maximal effekt på försöksdeltagarnas förmåga att bedöma bland annat flygplanets attityd (Federal Aviation Administration, APC, 1961). Resultatet visade att det var mest gynnsamt att måla flygplanets stjärtparti i den fluorescerande färgen. Denna placering minskar också risken för att den ska ge störande reflexer till piloten.

---

<sup>7</sup> Wright Air Development Center var en del av US Air Force som arbetade med forskning och utveckling inom flygvapensystem, föregångare till numera inaktiverade Aeronautical Systems Center.

Ytterligare studier bekräftade slutsatserna om nyttan med fluorescerande röd-orange färg. Bland annat Siegel och Lanterman (1963) som genomförde en studie där piloter ombads bedöma hur fluorescerande röd-orange färg påverkade flygplanets synbarhet. De kom fram till att den fluorescerande röd-orange färgen borde användas för ökad synbarhet. Andra studier kom fram till liknande resultat (Cook et al., 1962; Siegel och Federman, 1965).

### 3.1.1.2 Om en färg – vilken?

En studie av särskild relevans för den här rapporten genomfördes inför att det engelska flygvapnet skulle måla om den existerande flottan och i framtiden köpa in nya träningsflygplan på 90-talet. Efter ett antal kollisioner i luften med dödlig utgång (10 flygplan och sammanlagt 12 omkomna) under 80-talet beslutades att prioritera synbarheten hos flygplan. En serie försök som kallas "The Longview trials" inleddes för att utreda på vilket sätt synbarheten hos flygplan kunde förstärkas (Royal Air Force, 1993). Efter det första försöket, som utfördes av *The Institute of Aviation Medicine*, rekommenderades att en framåtriktad ljuskälla med stark intensitet (strålkastare) samt ett svart färgschema skulle användas för att förstärka synbarheten. Samtidigt rekommenderades ytterligare studier för att verifiera rekommendationen. Detta föranledde den andra fasen av försöksserien som genomfördes under 1992, där försök att öka synbarhet för militära taktiska och träningsflygplan under flygning i dagsljus genomfördes.

I det uppföljande försöket var fokus bland annat att utvärdera effekten av en starkare strålkastare och jämföra denna med standardstrålkastaren på en Hawk, samt att jämföra fyra olika färgscheman över land, samt två över hav/sjö. Syftet var att utvärdera möjligheten att utrusta Hawk med starkare strålkastare, samt att måla om flygplanet i mer synbar färg. De färgställningar som inkluderades i försöket var: 1) grå och grön (kamouflage), 2) mörkt sjö-grå, 3) röd, vit och blå (i tre längsgående sektioner) samt 4) matt svart. Syftet var att dels jämföra synbarheten mellan de olika färgställningarna mot landbakgrund, samt dels att jämföra den mörkt sjögråmalade Hawken med en grå/grön kamouflagemålad Hawk för synbarhet över hav/sjö (denna del av uppdraget handlade om att utvärdera effekt av kamouflagemålning). Målet var också övergripande att undersöka genomförbarheten i att måla om flygplanen i mer synbara färger. Studien genomfördes i två omgångar, där först färgkombinationerna över land jämfördes, och i en andra fas jämfördes färgerna över sjö/hav. I en tredje fas studerades effekten av en förstärkt strålkastare.

Under samtliga faser flögs åtta förutbestämda rutter av två flygplan samtidigt där målet var att enligt flygrutt korsa varandras banor (på 250 respektive 750 ft). Besättningen på flygplanen noterade under flygningen tiden mellan att de först såg det andra flygplanet till dess att de passerade varandra. Måtten som användes för att bedöma relativ synbarhet var uppmätt reflektans (färgernas genomsnittliga reflektans mättes när de stod på marken) samt tiden det tog för besättningen på flygplanen att passera varandra efter att deras besättning identifierat dem. Resultaten visade att över land var den matta svarta färgen mer synbar än de övriga färgkombinationerna, samt att över hav/sjö var den grå/gröna färgen mer synbar än den mörkt sjö-grå. Sammantaget var slutsatsen att för maximal synbarhet i de båda studerade fallen bör matt svart användas (Royal Air Force, 1993).

Det konstaterades dock att de genomsnittliga reflektansnivåerna för blank svart ligger nära matt svart färg. Blank svart färg bedömdes ha fördelar jämfört med matt när det gäller luftmotstånd och hur lätt den är att underhålla. Försöken med strålkastare i den tredje fasen visade också att flygplanet upptäcktes betydligt tidigare när det hade de starkare strålkastarna än standardstrålkastarna, i synnerhet när luminansen i bakgrunden var låg.

### 3.1.2 Mönster och synbarhet

När det gäller frågan om mönster och hur dessa påverkar ett flygplans synbarhet har brittiska Civil Aviation Authority (CAA) publicerat en skrift där de menar att flygplan som målas i en enhetlig färg har bättre synbarhet än flygplan med mönster (UK CAA, 2013). De skriver vidare att studier har visat att matt (eller blank) svart är den färg som ger bäst kontrast mot himmel. De studier de lutar sig mot är sannolikt studierna utförda på uppdrag av Royal Air Force inför upphandling och inköp av nya skolflygplan som beskrivs i avsnitt 3.1.1.2 (Royal Air Force, 1993).

På 60-talet genomfördes på uppdrag av amerikanska FAA en studie på mönster för att undersöka dels hur lätta flygplanen var att upptäcka, dels hur korrekt försöksdeltagarna (totalt 11 erfarna piloter) kunde bedöma deras attityd beroende på mönster (Federal Aviation Administration, APC, 1962). Tidigare, och andra samtida, studier (exempelvis Hodgson, 1959 och Cook et al., 1962) hade fokuserat på just effekten av exempelvis fluorescerande färg per se, och kommit fram till att ju större yta fluorescerande färg, desto bättre synbarhet. Syftet med denna studie var dock att särskilt studera eventuell effekt av hur dessa ytor med fluorescerande färg utformades, det vill säga mönstret. I studien användes modellflygplan som målades i sex olika mönster baserat på tre grundläggande principer som tagits fram under laboratoriestudier (Federal Aviation Administration, APC, 1961a i Federal Aviation Administration, APC, 1962):

- Skapa differentiering mellan flygplanskroppens ovan- och undersida med hjälp av ljushetskontrast
- Utöka storleken på ytan med fluorescerande färg
- Ha hellre en stor yta, än flera mindre ytor med röd-orange fluorescerande färg.

Utöver de sex olika mönstren användes även ett omålat aluminiumflygplan som kontroll. De mönster som användes hade alla gemensamt att de hade en fluorescerande färg på stjärtpartiet på flygplansmodellerna. Dock varierade storleken av denna yta mellan modellerna, samt att i ett par fall bröts den upp i stjärtparti och vingspetsar. Utöver den fluorescerande färgen användes grå med låg reflektans och matt vit färg.

Resultaten visade att det i stort sett inte fanns några skillnader mellan mönstren avseende synbarhet och bedömning av attityd under förhållanden motsvarande dagtid med klart eller delvis molnigt väder. Dock fanns indikationer på att förmågan att bedöma attityd hos flygplanet varierade med flygplansmodellens storlek, det vill säga – det är svårare på längre avstånd än kortare, dock oavsett val av mönster (Federal Aviation Administration, APC, 1962). Några indikationer fanns också på att ett mönster med vitt och grått på flygplanskroppen och röd-orange fluorescerande stjärtparti hade fördelar jämfört med övriga mönster. De enda slutsatserna som drogs av studien var dock att någon form av färg och mönster är bättre än att flygplanet är omålat, och att författarna rekommenderade att använda ett standardiserat mönster (för alla flygplan i organisationen/förbundet/övningen) vilket minskar osäkerheten vid beslutsfattande för piloten och därmed risken för kollision. Det vill säga, om alla flygplan har samma färg och mönster vet piloterna vad de ska leta efter, de känner då igen mönstret och det kommer göra det lättare att snabbt bedöma exempelvis riktning och läge på nära håll.

Ytterligare en studie genomförd under tidigt 60-tal fokuserade på den röd-orange fluorescerande färgen samt huruvida mönster på flygplanen kunde hjälpa piloter att avgöra flygplanets attityd (Cook et al., 1962). Studien var upplagd som en serie experiment med bland annat parvisa jämförelser av två olika typer av målade modellflygplan som sattes uppemot olika bakgrunder, med olika ljusförhållanden och varierades i 15 olika lägen (attityder). Försöksdeltagarna (24 erfarna piloter med civil och militär bakgrund) observerade flygplanen på ett avstånd på 37 ft (11,2 m). Detta var en simulering som motsvarade ett avstånd på 3,6 miles för den ena modellflygplanstypen och 3,2 miles för den andra som användes. Färgkombinationerna som användes var omålad aluminium, röd-

orange ovansida och svart undersida, vit ovansida och svart undersida, svart ovansida och röd-orange undersida samt svart ovansida och röd-orange undersida.

Resultatet av studien visade att de olika mönstren och färgkombinationerna inte påverkade den sammanlagda förmågan eller tiden det tog för piloterna att avgöra läget i luften.

Deltagarna hade något lättare att avgöra flygplansmodellens attityd mot blå himmelsbakgrund än mot skogsbakgrund, men det fanns ingen statistiskt signifikant effekt av färg eller mönster. I vissa situationer var en färgkombination något bättre för synbarhet medan i en annan kontext var samma färgkombination något sämre än övriga:

*”While a particular pattern may be especially effective under a certain lighting condition or against a certain background, when evaluated across the wide variety of lighting and background conditions found in flight, its advantage over other patterns becomes negligible.”*

Det vill säga, det fanns vissa små signifikanta skillnader för vissa färgkombinationer och mönster mot vissa bakgrunder och under vissa ljusförhållanden, men sammantaget går det inte att säga att en färg eller färgkombination och mönster var bättre än de övriga eftersom det var det sammanvägda resultatet som var av intresse för beslut om att måla om flygplan för synbarhet.

### 3.1.2.1 Användning av fluorescerande färg för synbarhet

Siegel och Federman (1965) följde upp principen om ”onaturliga färger<sup>8</sup>” genom att genomföra en serie om fem studier för att komma fram till ett färgschema/mönster som skulle ge maximal synbarhet. De kom fram till att genom att måla en stor kvadratisk yta enhetligt med fluorescerande röd-orange<sup>9</sup> omgiven av en kontrasterande färg och ljushet nås maximal synbarhet. Den färg som de rekommenderar som kontrast till den röd-orange fluorescerande färgen är marinblå med låg reflektans eftersom de är komplementära i färgspektrat. Författarna hänvisar till tidigare studier där man studerat färger för synbarhet men deras studie är den första som tittat på fluorescerande färger för att se om de faktiskt leder till bättre synlighet/upptäckbarhet.

I studien undersöktes även effekten av olika stora ytor av färg på modellflygplanen, och mängden röd-orange fluorescerande färg var positivt korrelerat med synbarhet, det vill säga – ju mer av planet som var målat i den röd-orange fluorescerande färgen, desto lättare var det för piloterna i studien att observera flygplanet. Studien visade också att flygplanets läge (attityd), olika ljusförhållanden eller bakgrunder inte signifikant påverkade piloternas förmåga att observera det.

### 3.1.2.2 Färgkombinationer på propellrar och rotoror

Det är inte bara i luften som synbarheten hos flygplan är viktig. På marken är det av stor vikt att markpersonal och flygledare snabbt kan se var och hur flygplan rör sig. Ett exempel på fråga som utretts är möjligheten att öka propellrars och rotorers synbarhet för markpersonal. 1967 kom Bynum et al. efter försök med 40 deltagare fram till att för att öka helikopterpropellrar och rotorers synbarhet bör ett färgschema användas som inkluderar blank vit, svart och fluorescerande röd-orange. Även Crosley et al. (1967) kom till samma resultat efter att ha gjort flygtester med parvisa jämförelser av fyra olika färgkombinationer (och mönster). Utgångspunkten för dessa studier var en tidigare studie (Lazo 1954) som kom fram till kombinationen vit, svart och röd var optimal för att öka

<sup>8</sup> Värt att notera är dock att fluorescerande färger i sig inte är onaturliga utan de förekommer i naturen hos både djur (företrädesvis fiskar och insekter) och växter.

<sup>9</sup> färgkod: ANA MIL-P21600

synbarhet på propellerblad. De två efterföljande studierna valde att med utgångspunkt i detta testa att ersätta den röda färgen med fluorescerande röd-orange och kom fram till att detta ökade synbarheten signifikant (Crosley et al., 1967). Baserat på de studierna infördes under en provotid målning med fluorescerande färg. Den fluorescerande färgen ersattes med en gul färg (den som fick näst bäst resultat i den tidigare studien) efter försöksperioden på fyra år. Detta gjordes då den fluorescerande färgen visat sig för dyr att underhålla då den bleknade så snabbt att den behövde målas om var 4e månad. Dessutom hade färgen egenskaper som gjorde att den klubbade ihop av de vätskor som den utsattes för och det fastnade skräp på den klubbiga ytan (Crosley et al., 1972).

Crosley et al. (1972) genomförde ytterligare en uppföljande studie för att utröna om målning av propellrar och rotorblad kunde öka synbarheten och därmed minska risker för olyckor i närheten av flygplan och helikoptrar. Totalt deltog 22 personer i studien där de ombads skatta effektiviteten hos nio olika färgkombinationer och mönster som målades på fyra flygplan och fem helikoptrar, bland dessa två ingick de mönster som användes av USAF under den tiden. Färgkombinationerna var svart-vit-gul och svart-vit-röd-orange som fördelades i olika randiga mönster på rotorbladen och propellrarna. I studien varierades hastigheten på rotationen och det visade sig att det blev något olika resultat vid olika hastighet vilket indikerar att rotationen påverkar den upplevda synbarheten för observatören. De två färgkombinationer som USAF använde visade sig i försöket skattas ha sämst synbarhet (Crosley et al., 1972). Sammantaget rekommenderades att propeller eller rotor målades enligt Figur 6, i första hand med röd-orange fluorescerande färg på spetsarna, övrigt svart-vit randig, i andra hand byta ut den fluorescerande röd-orange färgen mot gul, i sista hand bara svart-vit randig målning.



Figur 6. Rekommenderad målning av rotorblad (efter Crosley et al., 1972)

Något senare gjordes en liknande utredning för att komma fram till vilka mönster som var mest effektiva ur synbarhetsperspektiv för propeller och rotorblad (Welsh et al., 1978). Genom att jämföra tre olika mönster (alternerande svart-vita, röd-vita samt helvit med gula spetsar) blev slutsatsen att propellrar och rotorblad som målats i ett svart-vitrandigt mönster ansågs mest synbara.

### 3.1.3 Invändningar mot användning av fluorescerande färg

Litteraturen som legat till grund för det här kapitlet tycks peka på att fluorescerande färg är den färg som ger bäst synbarhet för flygplan, i varje fall om den används tillsammans med någon kontrasterande färg (exempelvis marinblått eller vitt). Den standardfärg som användes vid studierna som presenterats ovan (bland annat FAA APC, 1961) var en kulörton med fluorescerande röd-orange<sup>10</sup>, se Figur 7.



Figur 7. ANA färg nummer 633

Denna färg användes för markeringar på flygplan inom US Army under relativt lång tid, så sent som i riktlinjerna för märkning av flygplan 1986, dock då som ”removable paint” (US Army, 1986).

<sup>10</sup> Färgkod ANA MIL-P21600

Fluorescerande färg slog igenom stort i USA i slutet av 50-talet och över 1600 flygplan målades med färgen i olika utsträckning under 1957 (Smith, 1963). Enligt Civil Aeronautics Board informerades de om att färgen skulle kunna öka synbarheten med tre eller fyra gånger men enligt Smith (1963) finns det frågetecken kring hur bra färgen egentligen är i relation till hur dyr den är och kanske framförallt hur komplicerat det var att underhålla den. Sedan tillkommer diskussionen om vilka mönster och hur stor yta som egentligen skulle målas med den fluorescerande färgen (Cook et al., 1962; Siegel och Federman, 1965). Efter att US Air Force tittat närmare på sin statistik över antalet minskade olyckor efter införandet av fluorescerande färg kunde de inte säkerställa att minskningen berodde på enbart färgen utan under samma period hade de även ändrat trafikprocedurer, träningsupplägg och genomfört andra säkerhetshöjande åtgärder (Smith, 1963; Baker 1959). Federman och Siegel (1973) genomförde en studie för att specifikt titta på skillnaden i upptäckt av fluorescerande och icke-fluorescerande färg och de kom fram till att det inte fanns några signifikanta skillnader mellan dem, men rekommenderade ändå att de användes då det eventuellt kan finnas positiva effekter på synbarhet (om än ej statistiskt signifikanta).

Ytterligare faktorer som är relevanta i sammanhanget är de egenskaper som den fluorescerande färgen har. Alla målade ytor reflekterar en viss mängd av ljuset som träffar dem och absorberar den återstående mängden som värme. Det är hur mycket av ljuset som reflekteras som avgör vilken färg, nyans, mättnad som en människas öga uppfattar. Fluorescerande färger omvandlar en del av den absorberade ljusenergin till en annan färg som avges tillsammans med det övriga reflekterade ljuset vilket leder till att ögat uppfattar färgen som mer lysande och "ren", än färg på icke-fluorescerande ytor. Fluorescerande färg kan ha väldigt hög reflektans vilket gör att den liknar vitt eller andra väldigt ljusa färger (Smith, 1963). Därför bör inte fluorescerande färger kombineras med vita eller ljusa färger om man vill skapa ett mönster för ökad synbarhet. Istället bör exempelvis röd-orange fluorescerande färger kombineras med mörka färger som grå eller olivgrön för maximal effekt.

Ytterligare aspekter som påverkar användningen av fluorescerande färger är att de är relativt dyra och tar längre tid att applicera och eftersom de bleknar snabbt krävs mer underhåll. Livstiden för fluorescerande färger varierar beroende på vad de utsätts för, men låg under den här tidsperioden<sup>11</sup> i snitt på fyra till tolv månader (se exempelvis Crosley et al., 1967 eller US Army, 1986) jämfört med andra färger som används på flygplan som hade en livstid på fyra till fem år (Smith, 1963). Fluorescerande tejp används istället för färg på en del flygplan och den hade en livslängd på 24-48 månader vilket var avsevärt bättre än färgen. Dock kunde tejp inte användas på rotoror eller propellrar då den skalades av under användning (Crosley et al., 1967).

En laboratoriestudie på synbarhet på propellerblads undersidor mot ljusa bakgrunder har illustrerat ytterligare en egenskap med fluorescerande röd-orange (Stuart och Hughes, 2010). Studien syftade till att undersöka ifall färg kunde användas för att öka synbarheten på propellerbladen underifrån, från pilotens perspektiv. Resultaten av studien visade bland annat att mot en ljus bakgrund, som himlen, och utan en direkt stark ljuskälla riktad mot den fluorescerande färgen "försvinner" (uppfattas ej av mänsklig syn) den fluorescerande färgen. Det vill säga, det tillför inget att ha fluorescerande färger på undersidan av rotorbladen, eftersom piloten ser dem mot himlen, vilket innebär att de inte är belysta.

---

<sup>11</sup> Nyare färger kan ha annan livslängd men det har inte utretts vidare i den här rapporten.

### 3.1.4 UAVer och synbarhet

På senare år har antalet obemannade flygande farkoster (UAVer) ökat markant, vilket har föranlett den amerikanska luftfartsmyndigheten (FAA) att bland annat sammanställa forskning kring faktorer som påverkar observerbarhet, eller synbarhet, av UAVer (Williams och Gildea, 2014). Primärt handlar det om att den som är ansvarig för att undvika kollisioner mellan UAVer (eller mellan UAV och andra objekt) i luften är en observatör eller operatör på marken. Därför har mycket av den forskning som gjorts på UAVers synbarhet fokuserat på just synbarhet sett från marken (så kallad markbaserad visuell observation).

Redan 2009 publicerades riktlinjer för hanteringen av UAVer i det amerikanska luftrummet av FAA (Tarbert och Wierzbowski, 2009) där det fastslogs att allt ansvar för UAVen låg på dess pilot och besättning (det vill säga personer på marken) och att i luftrummet har annat flyg företräde. Detsamma gäller enligt riktlinjer från Transportstyrelsen i svenskt luftrum (TSFS 2017:110). Det vill säga det åligger den som flyger UAVn att se till att den inte är i vägen för annan flygtrafik. Dock påpekas i riktlinjerna att detta inte fråntar andra piloter i luftrummet ansvar för att följa ”see and avoid” principen. I rapporten från 2009 (Tarbert och Wierzbowski, 2009) ges inte några riktlinjer för synbarhet hos UAVer men det föreslås att FAA ska ta fram sådana riktlinjer. Flera kommentatorer i utredningen (det vill säga flygorganisationer som deltagit i utredningsarbetet) påpekar att starkt kontrasterande färger som bryter av mot marken vore önskvärdt. De färger som pekas ut är ”aviation orange and white”, eller en svart undersida men vit ovansida med minst två områden med fluorescerande röd-orange, eller ”aviation orange”<sup>12</sup> (ibid.). Således skiljer sig inte rekommendationerna nämnvärt från denna utredning från de studier som fokuserat på (bemannade) flygplans synbarhet som redovisats tidigare i kapitlet. I de svenska riktlinjerna för obemannade flygfarkoster (TSFS 2017:110) saknas instruktioner eller rekommendationer om färg på UAVer för att öka deras synbarhet. Däremot måste de vara utrustade med belysning för flygning i mörker.

### 3.1.5 Synbarhet i vägtrafik

Det är inte bara i luftrummet som synbarhet är en viktig fråga, utan även i trafiken på marken kan synbarhet vara avgörande för att undvika olyckor. Traditionellt används i trafiken ljuslyktor/strålkastare och reflexer på bilar och för utryckningsfordon har både ljud- och ljussignaler använts för att dra till sig uppmärksamhet. Historiskt har utryckningsfordon framför allt förlitat sig på aktiv signalering för att vara synliga (det vill säga blinkande ljus eller ljudsignaler) men numer har även den passiva signaleringen via färger och mönster blivit allt viktigare (FEMA, 2009). Vilka färger som används på exempelvis utryckningsfordon varierar mellan länder och över tid men det finns forskning på området och även här rekommenderas i många fall reflekterande material och fluorescerande färger.

Det är samma typ av reflekterande material som används i exempelvis vägskyltar. Viktigt att notera är dock att den här typen av material inte syns bättre än andra ifall det saknas en ljuskälla som kan speglas tillbaka. Denna ljuskälla kan vara solen, men det är mest effektivt vid en riktad ljuskälla som en strålkastare och därför är inte retroreflektiva material i sig en lösning på att öka ett flygplans synlighet i luften.

---

<sup>12</sup> Den färg som omnämns som ”aviation orange” kallas också ”international orange”, se exempelvis [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_orange](https://en.wikipedia.org/wiki/International_orange)



## 3.2 Färger som använts av svenska flygvapnet

I flygets tidiga dagar (tidigt 1900-tal) användes sällan färg utan flygplanen flögs omålade eller i vissa fall lackade vilket ofta betydde att färgerna var relativt ljusa, då de byggdes i trä och duk, och något senare i metall. De första flygplanen i svenska försvaret flögs 1912 och på den tiden var materialet trä och duk. De första instruktionerna om målning av flygplanen kom i samband med första världskriget då en generalorder utfärdades om att en svensk örlogsflagga skulle finnas på sidrodret och en kokard på undersidan av vingarna bestående av en gul prick med en blå ring runt, samt en märkning med svart färg med bokstaven S och ett efterföljande individnummer (Hellström och Fredin, 2000).

Instruktionerna uppdaterades dock ett år senare och istället för individnummer infördes tre svarta kronor på vit botten som skulle målas på både ovansidan och undersidan av vingarna. Det fanns ännu ingen standardstorlek på märkningen utan det varierade mellan flygplanstyperna. Något år senare tillkom bestämmelser om att kronorna även skulle målas på flygplanskroppens sidor, samt att alla märkningar skulle målas så stora som möjligt.

Den första utredningen gällande eventuell färg på flygplan beställdes 1918 och gällde då flygbåtar. Rekommendationen blev att måla dem ljusblå och sedan jämföra med andra målningar som användes på andra flygplan. Slutsatsen efter försöken 1918 blev att pansargrå ovansidor och ljusblå undersidor var att föredra jämfört med tidigare målningar av flygbåtarna (Hellström och Fredin, 2000).

Huvudsyftet med de tidiga planens markeringar var att de skulle kunna identifieras som icke-stridande under det pågående världskriget. Under 20-talet började istället kamouflagemålning användas i större utsträckning. Trots detta användes fortfarande ljusgula plan och aluminiumfärgade, då aluminiumfärgen tålde väder och vind bättre. Under den här tiden fanns relativt många olika märkningar och målningar då armén, marinen och flottan hade lite olika föreskrifter som följdes i varierande utsträckning (Hellström och Fredin, 2000). Återkommande är dock kronmärkningen med tre kronor i svart och vitt, samt nummer i svart eller vitt framför kronmärket. Även rodermärkning i flaggans färger användes. Flera försök genomfördes under 20-talet för att utröna vilken märkning som var synligast och resultatet visade att stora siffror i vitt med svart kontur samt tre svarta kronor omgivna av en vit cirkel var bättre än tre separata kronor och svarta siffror.

1926 bildades svenska flygvapnet och under flera år användes en stor blandning av både märkningar och numrering av flygplanen men 1928 infördes egna typbeteckningar på flygplanen. Under åren därefter var de flesta flygplan målade i aluminium eller stålgrå, förutom landflygplanen som skulle vara kamouflagemålade på ovansidan och aluminiummålade på undersidan (ibid.). Under 30-talet infördes också så kallade igenkänningsbeteckningar med nationalitetsbeteckning i form av gula tre kronor på blå botten, divisionstecken, individnummer, färg för att markera gruppstillhörighet inom divisionen samt band och vinklar för att utmärka chefsflygplan. Under samma period började även flygplanen målas med olika färger beroende på typ av flygplan.

När det gäller flygskolans flygplan så målades dessa under 30-talet i pansargrått med brandgula vingar och stabilisatorer, med vita siffror på den grå bakgrunden. Bilden till höger i Figur 8 nedan visar ett exempel på sådan märkning. Till vänster i figuren ses en något yngre SK 12.



Figur 8. Till vänster SK 12 (senare SK 14) Mörkgrönt med orange färg på fena och vingar. (Fotograferad av rapportförfattarna på Flygvapenmuseum i Linköping, maj 2019). Till höger en äldre Thulin G som var det första elevflygplanet som användes på 30- och 40-talet med märkning i svarta siffror mot vit bakgrund.

Från 40- och 50-talet och framåt användes främst signalröd och gul färg för skolflygplanen fram till att SK 60 och SK 61 kamouflagemålades med samma färgsättning som J35 Draken för att även kunna användas i icke-fredstid (Hellström och Fredin, 2000). Ett exempel på kombinationen av signalröd och gul kan ses uppe till vänster i Figur 9. De två nedre bilderna i samma figur visar den helt gulmålade SK 50 med blått kronmärke. Uppe till höger i figuren visas en SK 16 som även den var helt gul, men utrustad med tydliga röd-orange markeringar på vingar och flygplanskropp.



Figur 9. Uppe till vänster en SK 9H målad i signalrött och gult. (Foto: rapportförfattarna). Uppe till höger en helt gulmålade SK 16 med orange-röda markeringar (Foto: rapportförfattarna). Nere till höger en helt gulmålade SK 50 (Safir) med gul målning (Foto: rapportförfattarna). Nere till höger en safir i luften (©Saab AB).

Under 40 och 50-talet flögs förutom de gula planen även de grönmålade SK 15 och SK 25 (se Figur 10). Båda planen hade starkt orange vingar.



Figur 10. Till vänster SK 25 i mörkt olivgrön och med orange vingar samt tre kronor i gult och blått. Till höger SK 15 i samma färgställning. Användes på 40- och 50-talet. (Foto: rapportförfattarna).



Figur 11. Till vänster SK 14, pansargrå och orange. Användes in på 50-talet. Till höger ambulansflyg i samma orange färg (Foto: rapportförfattarna)

Den orange färgen från SK 14 (se Figur 11) mättes upp på Flygvapenmuseum i maj 2019 och har använts som utgångspunkt i experimentet som beskrivs i kapitel 4. Denna färg har använts på flera svenska flygplan genom historien, både över större ytor som vingar och fena/stabilisatorer och för märkning på mindre ytor så som på SK 61 och SK 61 som började flygas på 60-talet, se Figur 12. Dessa flygplan var till skillnad från tidigare skolflygplan inte målade för synbarhet utan istället med kamouflage.



Figur 12. Till vänster en SK 61 i grå-grön färg med orange tejp på vingar (Foto: rapportförfattarna). Till höger en SK 60 med kamouflagemålning och orange markeringar på vingar och stabilisator (©Saab AB).

### 3.3 Färger som används internationellt

När Sverige köpte in skolflygplan från bland annat England på 30- och 40-talen behölls den gula färgen som användes av det brittiska flygvapnet (Hellström och Fredin, 2000). Gult och rött är färger som förekommer över hela världen då man vill uppnå maximal synbarhet, vilket ofta är fallet när det gäller skolflygplan. Dock är den allra vanligaste färgen på flygplan sannolikt vitt, för det mesta med markeringar i andra kontrasterande färger. Några av de vanligaste flygplanen i världen är Cessna 150C, 152, 172 och 182 (enligt [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_most-produced\\_aircraft](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_most-produced_aircraft)). En sökning på dessa ger en indikation kring vilka färger som ofta förekommer för både skolflygplan och vanliga privata flygplan – vit grund med röda, blå, svarta eller orange markeringar, se exempel i Figur 13.



Figur 13. Cessna i ett antal olika målningar. (Foton: över till vänster: CC, över till höger: Adrian Pingstone, CC, nere till vänster: Aeroprnts.com, CC, nere till höger: CC BY-SA 3.0)

I militär kontext förekommer det i större utsträckning andra färger som gult, orange och svart, se Figur 14. För mer avancerade träningsflygplan (jetflygplan) är kamouflage vanligt.



Figur 14. Exempel på militära träningsflygplan. Över till vänster ett äldre australiensiskt flygplan 1982 (foto: CC, dod.media.osd.mil), över till höger ett äldre US Navy skolflygplan (foto: Jonathan Cutrer, CC BY 2.0), nere till höger en Goshawk som landar på USS Harry S. Truman (foto: Photographer's Mate 3rd Class Kristopher Wilson, CC)

Det engelska flygvapnet hade, som Sverige, länge gula träningsflygplan, men har gått över till vita med blå och röda markeringar, samt i vissa fall blå undersida, se Figur 15.



Figur 15. Uppre till vänster en Slingsby t-67 Firefly som flögs av RAF mellan 1974 och 2006. (Foto av Adrian Pingstone, Public Domain). Till höger Grob Tutor T1, används av RAF sedan 1998. (Foto: Gordon Elias/MOD, OGL v1.0, Wikimedia Commons), nere till vänster en Grob Tutor T1 i sämre väderlek (foto: Andrew Thomas, CC BY-SA 2.0), nere till höger Grob G (foto: James Humphreys, CC BY-SA 3.0).

Förutom de vita flygplanen med blå och röda markeringar har brittiska flygvapnet sedan utredningarna som beskrivs i kapitel 3 börjat flyga med svartmålade flygplan både under grundläggande och mer avancerad träning (även om de också fortsatt flyger i de vita flygplanen). Figur 16 visar exempel på svartmålade flygplan för träning och Figur 17 visar ett grundläggande träningsflygplan med blå undersida, samt ett kommande träningsflygplan som är helt svartmålat.



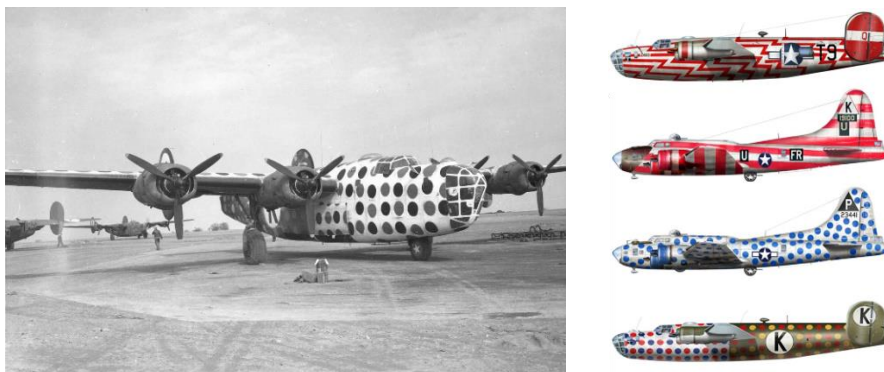
Figur 16. Svartmålade träningsflygplan. Till vänster en Tucano som används av RAF för grundläggande träning (notera röda spetsar på svart-viträndig propeller), till höger en Hawk T1 som flygs av RAF åtminstone till 2030 för mer avancerad träning. (Foto: Adrian Pingstone, Arpingstone, Own work, Public Domain).



Figur 17. Till vänster en Grob 120 T Prefect med blåmålade undersida som ska ersätta Tutor 1 i RAF. (Foto: Tony Hisgett, Birmingham, UK. CC BY 2.0, Wikimedia Commons), till höger en Beechcraft Texan MK1 som ska ersätta Tucano i framtiden (foto: RAF, CC)

### 3.4 Ett specialfall av synbarhet: uppsamlingsflyg

Det är inte bara för träning eller uppvisning flygplan bör synas. Under andra världskriget användes en hel del fantasifullt målade flygplan som så kallade uppsamlings- eller formationsflygplan för att underlätta skapandet av stora flygformationer (ofta med hundratals flygplan). Syftet var att de skulle synas så mycket som möjligt för att alla piloter skulle kunna se dem och följa dem i korrekt formation fram och tillbaka till basen efter ett uppdrag<sup>13</sup>.



Figur 18. Ett uppsamlingsflyg med prickar som användes av RAF under andra världskriget (foto: Wikimedia Commons). Till höger illustrationer av uppsamlingsflyg (bilder: med tillstånd från [www.classicwarbirds.co.uk](http://www.classicwarbirds.co.uk))

---

<sup>13</sup> Se exempelvis [https://en.wikipedia.org/wiki/Assembly\\_ship](https://en.wikipedia.org/wiki/Assembly_ship) och <https://www.classicwarbirds.co.uk/articles/the-history-of-lead-assembly-ships-of-the-eighth-air-force.php>

## 4 Metod för genomfört försök

För att ge underlag för beslut om en framtida färg för svenska skolflygplan med hög visuell signatur genomfördes ett försök som komplement till litteraturgenomgången. Syftet var att ge en indikation om hur ett urval färger upplevdes i kontrast mot realistiska bakgrunder i en svensk kontext. Utfallsrummet i form av möjliga flygplansfärger, bakgrunder, avstånd, storlekar, aspektvinklar spändes initialt upp med hjälp av en morfologisk matris. Eftersom antalet möjliga kombinationer var mycket stort var en prioritering nödvändig. Kapitlet redogör för resonemanget kring urval av färgprover, framtagning av försöksuppställning och själva genomförandet av försöket.

### 4.1 Försöksuppställning

Inför försöket var avsikten att välja tilltänkta flygplansfärger som ger god kontrast mot bakgrunder som motsvarar svensk natur: skog, fält, sjö, hav och himmel. Ambitionen var också att genomföra försök som baseras på de ljusförhållanden som råder utomhus under en stor del av året som flygundervisning pågår.

#### 4.1.1 Val av färgprover

Designkriterier, ställningstaganden och resultat redovisas i Tabell 1.

Tabell 1. Sammanställning av faktorer som beaktades vid framtagningen av försöksuppställningen.

Design-kriterium	Ställningstagande	Resultat
<b>Förgrunds-färgers kulörton och nyans</b>	Prioritera maximal kontrast mot ett urval av bakgrunder. Undersöka vilka färger som tidigare använts på flygplan för att ge hög synbarhet.	Valde relativt rena (kromatiska) kulörtoner som ger ”starkast” färg. Vit ingick som referens. En del färgprover baseras på färger som förekommit på svenska militära flygplan.
<b>Antal förgrunds-färger</b>	Genom att inkludera ett större urval av färger (både tänkbara och mindre troliga) blir uppgiften mer varierad och stimulerar till att använda hela skattningsskalan.	Praktisk hänsyn till tidsåtgång för att genomföra försöket (antal testfall), Ju fler förgrunder desto större bakgrund krävs och därmed svårare hantering.
<b>Form på färgproven</b>	Förgrundsfärgen påverkas av bakgrundsfärgen.	Gjorde färgproven kvadratiska så att orienteringen inte skulle bli en inverkan faktor.
<b>Storlek på färgproven</b>	Prioritera maximal synbarhet för avstånd mellan flygplan i intervallet 10–200 m. Undvika fenomenet att små föremål under vissa förutsättningar ”förlorar sin färg”.	Skapade 50 x 50 cm stora färgprover. Om dessa placeras på 50 m avstånd från betraktaren motsvarar detta ungefär ett skolflygplan med höjden 2,5 m på 250 m avstånd.
<b>Typ av bakgrund</b>	Säkerställa ett urval av bakgrunder som är representativt för svenska förutsättningar.	Valde bakgrunder som representerar mark (skog, fält, sjö och hav) och himmel.
<b>Antal bakgrunder</b>	Säkerställa ett urval av bakgrunder som är representativt för svenska förutsättningar.	Praktisk hänsyn dels tidsåtgång för att genomföra försöket (antal testfall).
<b>Storlek på bakgrunden</b>	Omgivande terrängen påverkar bakgrundsfärgen som i sin tur	Såg till att bakgrunden var tillräckligt stor i förhållande till förgrunden och

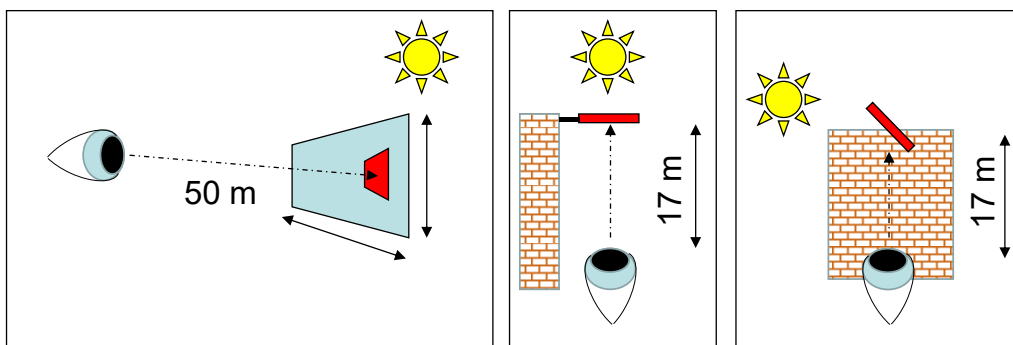
Design-kriterium	Ställningstagande	Resultat
	påverkar förgrundsfärgen. Balansgång mellan krav på yta och hanterbarhet.	att avståndet till bakgrunden från betraktaren var anpassat till bakgrundens storlek.
Val av plats	Säkerställa att deltagarna ges möjlighet att fokusera på uppgiften, dvs. att de inte störs av omgivningen.	Där så är möjligt genomföra försöket inomhus, i skydd mot väder och vind, med deltagarna framför öppna fönster.
Omgivningsförhållanden	Eventuella förändringar av förutsättningarna över tid	Begränsa antalet testfall för att uppnå mesta möjliga variation inom försöket

#### 4.1.2 Utrustning och stimuli

Avvägningen mellan antal betingelser och tid för genomförande av försöket resulterade i sju förgrunder och sju bakgrunder, se Tabell 2. Kamouflagenät valdes för att ge bakgrunder som efterliknar naturens textur och nyttja det faktum att de tagits fram för att representera utseendet hos skog, fält och snö.

Förgrundsfärgerna, dvs. färgprover för kandidater till flygplansfärg, målades på 50 x 50 cm stora metallplåtar. De två blå bakgrundsfärgerna målades på var sin sida av plywood-skivor som tillsammans bildade en yta med bredd 7 m och höjd 1,2 m. Samtliga färger var halvmatta, kommersiellt tillgängliga och baserade på NCS-systemet.

Försöket delades upp i två delar: 1) bedömning av kontrast för flygplan mot mark och 2) bedömning av kontrast för flygplan mot himmel. I delförsök 1 befann sig deltagarna inomhus en våning upp framför öppna fönster (Figur 19a) med approximativt 5° vinkel till tavlorna. I delförsök 2, kontrast mot himmel, var färgproverna placerade på taket till en byggnad med betraktaren stående utomhus rakt nedanför tittandes upp mot färgprovet som var i 90° vinkel (Figur 19b) respektive 45° vinkel mot betraktaren (Figur 19c).



Figur 19. a) (vänster figur) b) (mittensta figuren) och c) högra figuren.

Figur 20 visar förekommande förgrundsfärger mot den ljusa blå bakgrunden i delförsök 1.



Figur 20. Färgprovernas placering mot bakgrund för bedömning av kontrast från luft mot mark.



Tabell 2. Sammanställning av valda för- och bakgrunder. Parametrarna L\*, a\* och b\* är definierade i CIE och står för ljushet, grön/röd respektive blå/gul komponent. Maskeringsnäten består av flera kulörer.

Förgrundsfärg	Färgprov	Ursprung	NCS-kod	RGB	L*	a*	b*
<b>Röd</b>		Färg som förekommer i divisionsmarkering på försvarets flygplan	2070-R	227, 25, 55	41,6282	44,8896	19,4826
<b>Orange</b>		Samma kulörton men något avvikande nyans än tidigare använd färg på skolflygplan	0585-Y50R	241, 126, 40	61,5259	39,4681	56,4607
<b>Gul</b>		Färg som förekommer i dekalen tre kronor på försvarets flygplan	0580-Y10R	255, 221, 0	78,8145	13,9764	78,2793
<b>Neongrön</b>		Färg som avviker från naturen och som motsvarar den våglängd där ögat har störst känslighet.	0570-G40Y	179, 255, 0	75,4513	-24,2975	57,8304
<b>Blå</b>		Färg som förekommer i dekalen tre kronor på försvarets flygplan	3060-B10G	52, 153, 188	48,0078	-29,9564	-20,9007
<b>Lila</b>		Komplementärfärg till vald orange	2040-R50B	122, 58, 241	60,2783	18,6898	-19,6044
<b>Vit</b>		Vald som referens	0000-N	255, 255, 255	94,8824	-0,9364	3,2914
<b>Kamouflagenät grönt</b>		Masknät 7 7 II Grön. M1514-027040	-	-			
<b>Kamouflagenät beige</b>		Barracuda AB: benämning ULCAS 6,8 x 6,8 M Sand Desert MLCN-D	-	-			
<b>Kamouflagenät vit</b>		Vintermaskerduk 525. M1514-255250	-	-			
<b>Mörkblå</b>			3560-R80B	33, 57, 161			
<b>Ljusblå</b>			0030-R90B	136, 179, 255			

## 4.2 Genomförande

Studien genomfördes på FOI i Linköping två eftermiddagar den 16–17 september 2019. Försöket pågick dag ett från kl. 13:30 till 15:30 och dag två från 13:30 till 15:00. Första dagen var vädret soligt med enstaka moln under utomhusdelen av försöket medan det andra dagen var det mulet med ihållande regn.

För att undvika systematiska effekter roterades visningsordningen av färgproverna ett steg för varje bakgrund. Inför andra försöksdagen reverserades både visad ordning av färgprover och bakgrunder.

En sammanställning av uppmätta illuminansvärden återfinns i Tabell 3. Färgproverna i del 1 befann sig i riktning rakt söderut från betraktarna.

Tabell 3. Sammanställning av uppmätt luminans under de två dagarna.

<b>Illuminans (klux)</b>				
	<b>Delförsök 1 (sensor på marken vid färgproverna riktad uppåt)</b>	<b>Delförsök 1 (sensor vid deltagarna i fönstret riktad uppåt)</b>	<b>Delförsök 1 (sensor vid deltagarna i fönstret riktad mot färgproverna)</b>	<b>Delförsök 2 (sensor på marken vid deltagarna riktad uppåt)</b>
Dag 1	60	35	10	3–5
Dag 2	9	2	0,5–2	3–4

### 4.2.1 Deltagare

I försöket deltog flygförare vars ålder och erfarenhet fördelades enligt Tabell 4 respektive Tabell 5. Den låga medianåldern är ett resultat av att majoriteten av deltagarna i försöket var flygelever.

Tabell 4. Deltagarnas åldersfördelning.

	<b>Antal deltagare</b>	<b>Ålder, median (år)</b>	<b>Min (år)</b>	<b>Max (år)</b>
Totalt	20	32,5	25	54
Dag 1	15	28	25	54
Dag 2	5	51	46	54

Tabell 5. Deltagarnas fördelning av flygerfarenhet.

	<b>Antal deltagare</b>	<b>Flygerfarenhet, median (år)</b>	<b>Min (år)</b>	<b>Max (år)</b>
Totalt	20	1	1	34
Dag 1	15	1	1	32
Dag 2	5	30	22	34

Andelen kvinnliga deltagare var 10 %. Skillnader mellan kvinnor och mäns uppfattning av färg och kontrast är små. Kön förväntades därför inte vara en faktor när det gäller förmågan att bedöma färg/kontrast under de förutsättningar som rådde för försöket. För att kontrollera repeterbarheten och belysa eventuella effekter av omgivningsförutsättningarna genomförde även en forskare uppgiften båda dagarna. Samtliga deltagare hade normalt färgseende.

Ålder förväntades inte vara en faktor i förmågan att bedöma färg och kontrast. Ögats förmåga att uppfatta färg kan förändras med ökad ålder, men inträffar i regel för personer som är äldre än deltagarna i försöksgruppen (Haegerstrom-Portnoy et al., 2014).

#### 4.2.2 Procedur

Försöket inleddes med kort beskrivning av bakgrund och principer för genomförande. Deltagarna gav därefter sitt skriftliga medgivande till att delta i försöket. Deltagarna informerades om att de kunde avbryta försöket närhelst de önskade utan motivering. Innan försöket påbörjades genomfördes även en kort bakgrundsenkät.

Försöket innehöll tre uppgifter: delmoment 1) att bedöma färgprovets kontrast mot bakgrundsfärgen, delmoment 2) att rangordna färgprovernas inbördes kontrast, delmoment 3) att rangordna färgproverna efter preferens som färg för nästa skolflygplan.

Skattningen av enskild kontrast (delmoment 1), skulle i princip kunna resultera i samma poäng för alla färgprover medan rangordningen (delmoment 2) skulle tvinga fram en skillnad i nivå mellan färgerna. Förutsatt att bedömarna tyckte relativt lika skulle därmed rangordningen producera en tydlig färgkandidat även om den faktiskt bedömda skillnaden i kontrast mellan färgproverna var relativt liten.

Deltagarna genomförde uppgiften genom att fylla i ett formulär (se bilaga). Skattningarna genomfördes samtidigt men enskilt och under tystnad.

För varje bakgrund genomfördes i angiven ordning:

1. Delmoment 1. Skattning av enskild kontrast mot bakgrunden, där en förgrundsfärg visades åt gången. Uppgiften var att bedöma upplevd kontrast på en skala 1 till 7 (*1-Mycket låg, 7 - Mycket hög*).
2. Delmoment 2. Rangordning av färgers kontrast, där samtliga förgrundsfärger var synliga. Uppgiften var att rangordna färgerna inbördes från *lägst kontrast* (1) till *högst kontrast* (7).
3. Delmoment 3. Rangordning av preferens, där samtliga förgrundsfärger var synliga. Uppgiften var att rangordna färgerna inbördes från *vill helst inte se på flygplanet* (1) till *vill helst se på flygplanet* (7).

## 5 Resultat och analys

I detta kapitel redovisas resultatet av de subjektiva skattningarna av kontrast och rangordningen av färg efter kontrast och preferens.

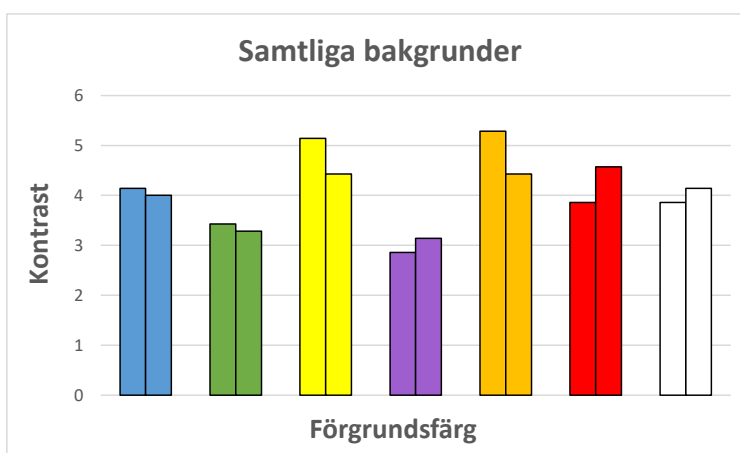
### 5.1 Bearbetning av data

Databearbetning och analys genomfördes med Microsoft Excel och Statistica där ett p-värde  $<0,05$  ansågs som statistiskt signifikant.

För data från rangordningen fanns ett antal fall där deltagarna hade använt samma värde två gånger, exempelvis angivit två teor. Eftersom det inte gick att utröna vilken skattning som var felaktig, och resultatet inte förväntades påverkas negativt, behölls angivna svar utan åtgärd.

Analys med hjälp av *envägs Anova* på data från delmoment 1 (absolut kontrast) visade att det inte fanns någon statistiskt säkerställd skillnad i skattad nivå mellan dagarna. Detta betydde att data från de två försökstillfällena kunde slås samman till en gemensam datamängd. Väderförutsättningarna under delmoment 2 och 3 av försöket var dock så pass varierande att dessa fall redovisas separat.

Figur 21 visar hur den forskare som genomförde uppgifterna båda dagarna skattade nivån på kontrast i delmoment 1. Staplarnas likvärdiga höjd för respektive färg indikerar att repeterbarheten var god. Vidare undersökning visade också att forskarens skattningar inte skilde sig från de andra deltagarnas.



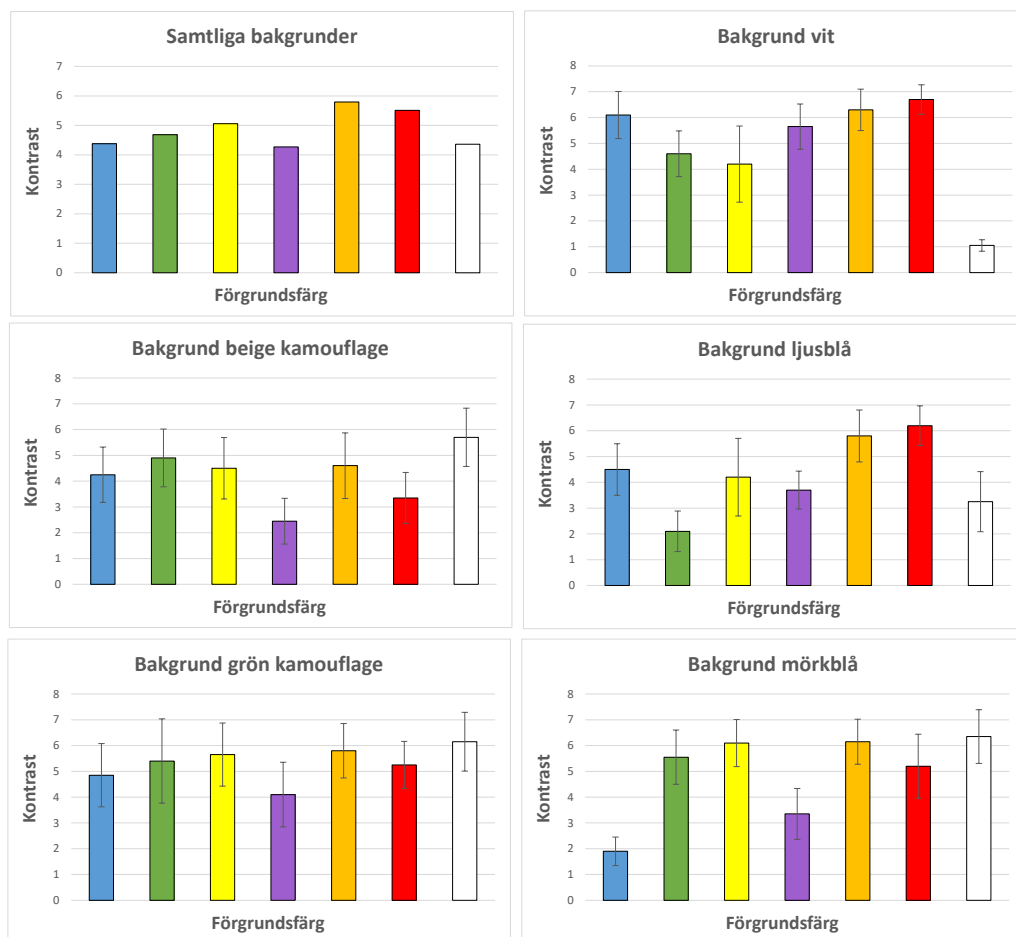
Figur 21. Jämförelse mellan dagar för forskarens skattning av enskild kontrast. Vänster stapel motsvarar dag 1 och höger stapel dag 2.

Forskarens skattningar ingår inte i den fortsatta redovisningen av resultatet.

Det fanns inte skäl att förmoda att vi skulle se markanta skillnader i kontrast mellan de bäst presterande färgproverna för respektive bakgrund. Avsikten var därför inte att eftersträva statistiskt säkerställda skillnader mellan färgproverna. Med anledning av detta redovisas resultatet i huvudsak deskriptivt. Genomförd analys baseras på bedömning av staplarnas inbördes relation för de olika bakgrunderna.

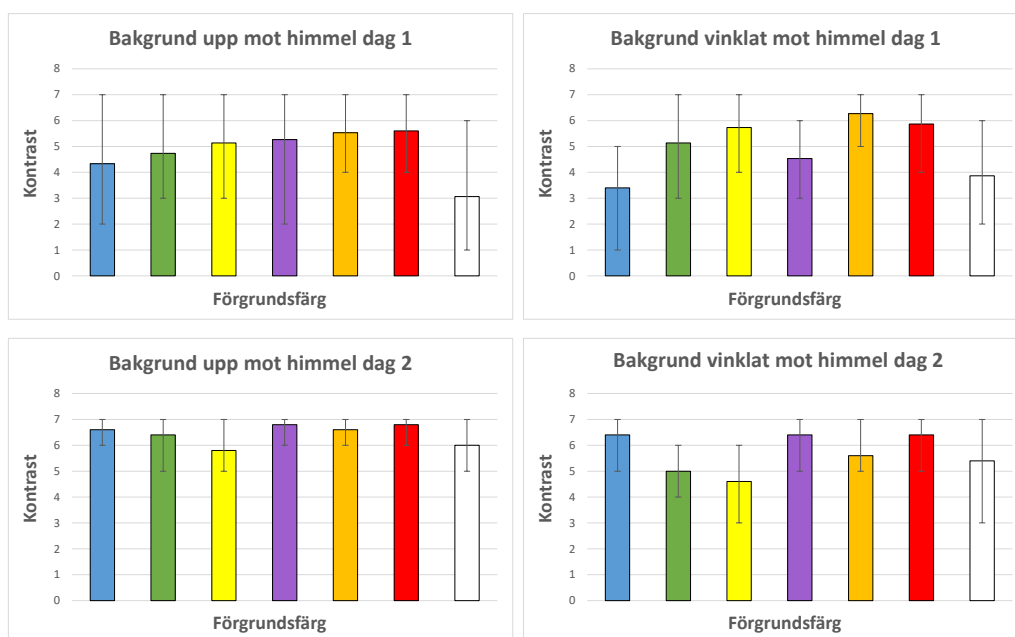
## 5.2 Skattning av enskild kontrast

Deltagarnas skattning av färgprovernans kontrast mot bakgrunder redovisas i Figur 22 och Figur 23. Graferna visar medelvärdet av skattningarna baserat på sammanslagna data för båda dagarna. Grafen längst upp till vänster i Figur 22 visar medelvärdet av skattningarna för samtliga åtta bakgrunder. Undersökning av deltagarnas individuella skattningar visade att spridningen var relativt jämn och att ingen deltagare skattade orimligt lågt eller orimligt högt i någon situation.



Figur 22. Medelvärde av skattning av enskild kontrast baserat på sammanslagna data från båda dagarna. Felstaplarna anger standardavvikelsen, dvs. ett mått på hur mycket skattningarna varierade inom gruppen.

Om alla förekommande bakgrunder tilläts ha lika stor inverkan, såsom grafen längst upp till vänster i Figur 22, skulle orange bli förordad. Det rimliga var dock att betrakta varje bakgrund för sig och ta hänsyn till att vissa bakgrunder kunde anses mer representativa för svensk terräng än andra. En annan aspekt var valet mellan att ha en eller flera färger på flygplanet. Ett argument för att välja olika ovan- och undersida var möjligheten att optimera kontrast mot mark respektive himmel.



Figur 23. Resultat för deluppgift två och tre fördelat per dag. Övre raden visar försöksfall 1 medan undre raden anger tillfälle 2. Felstaplarna anger lägsta respektive högsta skattning från någon individ.

När plattorna betraktades rakt underifrån (testfallet Bakgrund upp mot himmel) och således inte var solbelysta, var skillnaden i intensitet mellan förgrund och bakgrund stor. Detta gjorde att färgerna generellt sett uppfattades som mörka med relativt god kontrast mot himlen (Figur 23 vänstra delen). Förutom vit skattades ingen färg i medel lägre än fyra på skalan ett till sju.

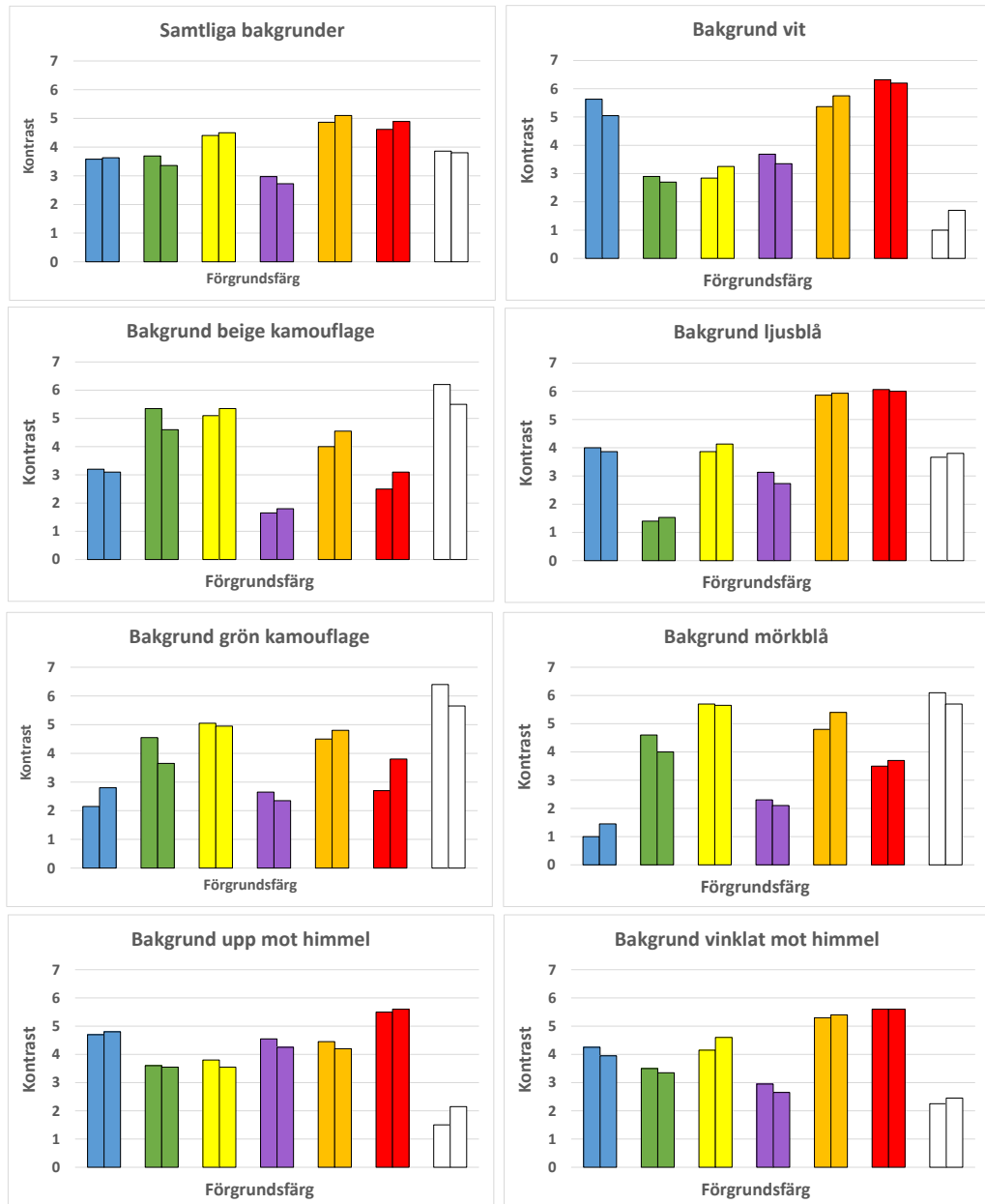
En 45° uppvinning av plattorna (testfallet Bakgrund vinklat mot himmel) innebar att solens strålar började belysa färgproverna (Figur 23 högra delen). Detta ledde till en ökning av det reflekterade ljusets intensitet och därmed framträdde färgprovernas kulör i större utsträckning.

Figur 23 visar att det fanns relativt stora individuella skillnader i skattning av enskild kontrast för båda testfallen mot himmel under dag 1. Detta kan vara en konsekvens av att det var svårt att se plattornas färger och det är tänkbart att vissa deltagare omedvetet kan ha lagt in möjligheten att uppfatta färg i bedömningen av kontrasten.

Figur 23 visar också att det fanns skillnader mellan dagarna som ger ett delvis motstridigt resultat. Det högst troliga är att detta enbart är en konsekvens av momentana förändringar i väder (solbelysning) framförallt under genomförande av testfallet Bakgrund vinklat mot himmel dag 1. Vädrets påverkan illustrerar problematiken med att välja lämplig färg när omgivningen är så pass dynamisk.

### 5.3 Rangordning av kontrast och preferens

Deltagarnas rangordning av färgprovernas kontrast respektive preferens mot förekommande bakgrunder redovisas i Figur 24. Graferna visar medelvärdet av rangordningarna med kontrast i vänster stapel och preferens i den högra för att underlätta jämförelse. Grafen längst upp till vänster visar medelvärdet av rangordningarna för samtliga bakgrunder.

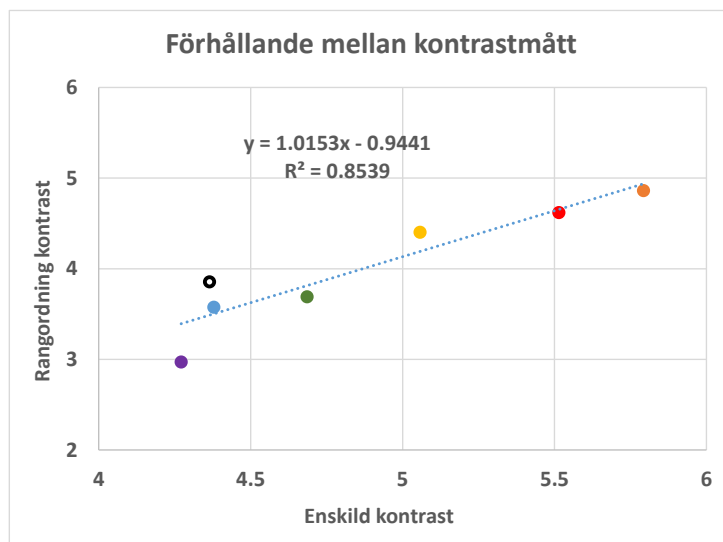


Figur 24. Medelvärde av deltagarnas rangordning av kontrast (vänster stapel) respektive rangordning av preferens (höger stapel) baserat på sammanslagna data från båda dagarna.

## 5.4 Samband och viktning

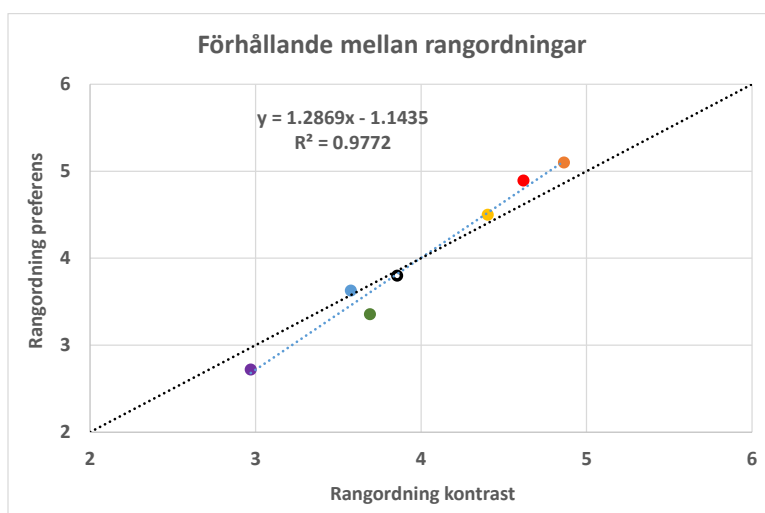
Genom att plotta olika mått mot varandra är det möjligt att illustrera samband och trender. Regressionslinjen (den blå streckade linjen i figurerna) och tillhörande ekvation anger det predicerade sambandet baserat på insamlad data.

Ur Figur 25 kan utläsas att rangordning av kontrast och skattning av enskild kontrast följde ett generellt mönster, ju högre värde under enskild skattning av kontrast ju högre rangordning av kontrast. Färgerna gul och vit (visas med svart ring) ligger strax över den blå linjen, vilket innebär att de rangordnades något högre än vad de skattades medan motsatsen gällde för lila färg.



Figur 25. Samband mellan skattning av preferens (y-axeln) och enskild kontrast (x-axeln) baserat på medelvärdet av samtliga bakgrunder.

Figur 26 visar på samma sätt att ju högre rangordning av kontrast ju högre rangordning av preferens. Färgerna orange och röd rangordnades något högre i preferens jämfört med kontrast medan motsatsen gällde för lila och grön.



Figur 26. Samband mellan rangordning av preferens (y-axeln) och enskild kontrast (x-axeln) baserat på medelvärdet av samtliga bakgrunder.



## 6 Diskussion och rekommendationer

I detta kapitel sammanfattas och diskuteras dels resultaten av litteraturstudien, dels resultatet av det genomförda försöket. Kapitlet innehåller även förslag på framtida verksamhet av relevans för synbarhet (och därmed färgval) som inte har rymts inom ramen för det här uppdraget.

### 6.1 Faktorer som påverkar färgval

Genomgången av litteraturen visar att det är flera faktorer som påverkar valet av färg och synbarheten är inte det som främst tycks ha påverkat valet av färg på flygplan internationellt och historiskt. Även om de studier som FAA inledde under 60-talet genom Applied Psychology Corporation (APC) hade fokus på att utreda effekten av synbarhet (till exempel FAA APC, 1962) på olycksstatistiken var även färgens egenskaper och andra syften med att måla flygplan viktiga ingångsvärden i studierna.

Faktorer som har haft stor inverkan på färgval för flygplan inkluderar följande:

- Initial kostnad för målning (svart färg är dyrare än vit).
- Färgens underhållskostnad. Starka och fluorescerande färger bleks relativt snabbt av väder och vind och kräver mer underhåll och tätare ommålning.
- Flygplanets vikt (svart färg är exempelvis tyngre än vit).
- Värmeabsorption (mörka färger absorberar mer värme än ljusa). Studier visade att när vita eller ljusa färger används på ovandelen av flygplanskroppen minskar temperaturen inne i den.
- Bländning. Svart matt färg, eller andra mörka färger/nyanser, används också exempelvis nära vindrutan för att minska risk för bländning/skarpa reflektioner (som också kan öka risken för olyckor).

Utöver dessa faktorer har även leverantörers rekommendationer för färgval haft inverkan på vilka färger som används. I många fall kan det handla om att leverantören av produktionstekniska och andra besparingsskäl rekommenderar vit färg som standard. Att avvika från denna standard kan leda till högre kostnader för kunden.

När det gäller skolflygplan har många länder valt militära skolflygplan i nationens färger och mönster baserat på flaggor eller organisationstillhörigheter. Andra syften med färganvändning är för identifiering av enskilda flygplan eller att visa exempelvis förbands- eller divisionstillhörighet.

### 6.2 Litteraturstudien

De vetenskapliga studier, laboratorieförsök och fältförsök som genomfördes under 1960-talet kom samstämmigt fram till att de enda färger som markant ökar synbarheten på flygplan är fluorescerande färger, främst röd-orange. I övrigt spelar färg inte någon signifikant roll för att upptäcka ett flygplan.

I litteratursökningen återfanns inga tydliga resultat som påvisade någon effekt av mönster på flygplans synbarhet. Detta beror bland annat på att ögat generellt uppfattar flygplanet i kontrast mot bakgrunden betydligt snabbare än eventuella mönster på flygplanskroppen. Synbarheten i sig påverkas inte signifikant av eventuella mönster även om det finns studier som indikerar att mönster kan ha effekt på förmågan att bedöma ett flygplans läge eller attityd i luften. Kombination av färg och mönster kan således eventuellt spela roll för pilotens förmåga att bedöma ett annat flygplans läge/position samt relativa hastighet i luften.

Baserat på litteraturen i relation till synbarhet kan rekommendationerna för att nå maximal synbarhet sammanfattas enligt nedan:

- Ha minst två kontrasterande färger:
  - Ljus ovansida (vit)
  - Mörk undersida (svart eller mörkt blå)
- Måla något eller några områden med fluorescerande röd-orange (eller motsvarande icke-fluorescerande färg).
- Vid helt enfärgade flygplan, använd mörkblått eller svart.

Viktigt att notera är att färg för synbarhet i princip endast är av intresse för kortare avstånd, för längre avstånd har inte färgen signifikant påverkan på flygplanens synbarhet varken från marken eller luften.

### 6.3 Genomfört försök

Det försök som utfördes i den här studien hade som fokus att bedöma kontrast och rangordna alternativ till färgval för skolflygplan i en svensk kontext. Huvudmålet var att kartlägga vilka färger som kan leda till så hög visuell signatur som möjligt.

Resultaten av försöken visade att vilken färg som är bäst lämpad beror på den aktuella bakgrunden. Valet av färg blir således beroende av vilken eller vilka bakgrunder som är prioriterade för att maximera synbarheten. Med utgångspunkt från detta, i kombination med det som sagts i litteraturen, blev inriktningen två färger med inbördes god kontrast för att fungera mot så många olika bakgrunder som möjligt.

Orange färg presterade genomgående bra vilket innebär att den utfaller som främsta färgkandidat för ovansidan av flygplanet (mot mark). Röd färg var bäst mot vita/ljusa bakgrunder vilket ofta är situationen vid flygning i moln. Den orange färg som användes vid försöket kan därför med fördel göras något rödare i kulörtonen och därmed dra fördel av egenskaperna hos både orange och rött.

Mot ljusa bakgrunder, såsom fallet färg för undersidan av flygplanet (mot himlen), är det generellt en fördel med hög luminanskontrast. Den blå färg som användes vid försöket var baserad på den blå färgen i det svenska kronmärket och presterade bra mot ljusa bakgrunder. Hypotesen var dock att denna kulörton, med sin inneboende mörkhet, skulle ha skattats högre än vad resultatet visade. Att så inte skedde kan bero på att färgen var för ljus, något som stöds av litteraturen där mörkt blå förespråkas som bästa val för synbarhet. Uppmätningen av färgproverna enligt CIE visade också att den blå färgen var något ljusare än den röda som ingick i försöket. Den blå färg som användes vid försöket kan därför med fördel göras något mörkare blå i kulörtonen.

Det finns överväganden att göra med avseende på målning av flygplanskroppen. Ska flygplanet målas med två färger är det att rekommendera att separera färgfälten med en färg som ger maximal kontrast mot båda färgerna. I det här fallet ger vitt god kontrast mot både orange och blått.

De momentana variationerna i väderförhållanden under vissa delar av försöket verkar i viss utsträckning ha påverkat nivån på skattningarna. Detta illustrerar den dynamik, och problematik, som gör det komplicerat att hitta en optimal färg som ger bra kontrast mot himmel under olika förutsättningar. Att skattningarna var likvärdiga mellan dagarna trots stora skillnader i ljusnivå kan förklaras med att ögat har stort dynamiskt omfång och är därmed kapabelt att anpassa inkommande ljusmängd på så sätt att färger upplevs som relativt konstanta trots stora skillnader i belysning.

## 6.4 Slutsatser med avseende på typsituation 1

Synbarheten är en funktion av avstånd, flygkroppens storlek och aspektvinkel (vilket styr kontrast mot bakgrund). Om avståndet är kort finns andra hänsyn att ta såsom risk för reflektioner samt upplevd intensitet i färgen. Det kan även vara av intresse att använda färg och mönster för att underlätta roteflygning. Oavsett syfte bör inte flygplanets färg och markeringar vara utformade på så sätt att de inverkar störande på roteflygningen.

Baserat på kunskap om färg, resultat från litteratursökning och genomfört försök förordas:

- Flygplanets undersida förses med en blå färg (ej svart, men något mörkare blå än kronmärket), till exempel NCS-kod 3070-R90B.
- Flygplanets ovalsida förses med en orange-röd färg (den orange kulörtonen kan vara rödare än den som generellt benämns "aviation orange"), till exempel NCS-kod 0585-Y60R.
- Flygplanets sida förses med ett längsgående vitt fält (linje) som avskiljer de två färgerna. Kriteriet med god kontrast mellan förekommande färger uppfylls även av de valda kulörtonerna orangeröd och mörkblå.

Det finns inte underlag för att rekommendera en viss typ av mönster eller ens kvantifiera i vilken utsträckning mönster har betydelse för synbarhet eller uppfattning av flygläge. Icke desto mindre tror vi att mönster mycket väl kan ha betydelse för möjligheten att snabbt identifiera flygläge. Ett väl designat färgschema skulle kunna ge förarna ett stöd som både gör det lättare att se förändringar i roll-led och att inta korrekt positionering vid roteflygning (till skillnad från enfärgat flygplan). Men det kan också handla om värdet av visuella kännetecken på flygplanet såsom en tydlig horisontell skiljelinje.

## 6.5 Förslag till fortsatt verksamhet

I typsituation 1 beaktas tre aspektvinklar (uppifrån, nedifrån och sida) och avstånd. Att studien har prioriterat typsituation 1 har inneburit ett fokus på de effekter som framträder vid kortare avstånd. Typsituation 2 och 3 innebär dock både längre avstånd, taktisk flygning och IFR vilket ökar betydelsen av att förstå hur synbarheten påverkas av hjälpmedel såsom NVG, omgivningsförhållanden och flygplanets storlek i kombination med färg och mönster. Vid försöken användes inte visir vilket kan påverka färguppfattningen och bör studeras ytterligare. Fortsatt verksamhet förslås därför som är riktad mot empiri, ytterligare försök, för att på så sätt erhålla ett substantiellt underlag inför kommande anskaffningar.

Föreliggande studie har varit inriktad mot färgens kulör och inte egenskaper hos koloranten (den faktiska färgen som man målar med). Då kemiska och fysiska egenskaper hos koloranten påverkar hur färgen beter sig i olika kontexter och ljussättningar bör detta utredas vidare för att säkerställa optimalt val av kolorant och kulör.

Rekommenderat fortsatt arbete omfattar:

- analys av hur synbarheten hos färgen påverkas av NVG och visir
- avstånds- och väderpåverkan på färgens synbarhet
- utredning av lämpligt mönster för uppfattning av flygläge
- stöd till upplägg och analys av flygförsök i samband med provmålning
- analys av kemiska och fysikaliska egenskaper hos färgprover.

## Referenser

- Baker, C. (1959) Visual aspects in collision avoidance of air force aircraft. In Morris, A. och Porter Horne, E. *Visual Search Techniques. Proceedings of a Symposium sponsored by the Armed Forces – NRC Committee on Vision*. Washington D.C.
- Barrett, C. (1970). *Op art*. Studio vista.
- Billmeyer F.W. Jr, Saltzman M. Principles of Color Technology 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, 1981, ISBN 0-471-03052-X.
- Boff, K., R., Lincoln, J. E., Volume I, Engineering Data Compendium Human Perception and Performance, Harry G Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1988.
- Bruce, V., Green, P. R., & Georgeson, M. A. (1996). Visual Perception: Physiology. *Psychology and Ecology* (East Sussex, UK: Psychology Press).
- Bynum, J. A., Bailey, R. W., Crosley, J. K., och Nix, M.S., Jr. (1967) *Development of a Paint Scheme for Increasing Helicopter Conspicuity*, Report No. 68-1, U. S. Army Aeromedical Research Laboratory, Fort Rucker, Alabama, September.
- Choudhury, A. K. R. (2014). *Principles of Colour and Appearance Measurement: Visual Measurement of Colour, Colour Comparison and Management*. Woodhead Publishing.
- Cook, S., Quigley, C., och Clift, L. (1999). *An assessment of the contribution of retroreflective and fluorescent materials*. U.K. Department of Environment, Transport, and the Regions.
- Cook, K., Beazley, M. och Robinson, J. (1962) Aircraft conspicuity and flight attitude information provided by exterior paint patterns. *Journal of Applied Psychology*, 46, 175-182.
- Crosley, J.K., Tabak, R.G., Braun, E.G. och Bailey, R.W. (1972) Improving U.S. Army aircraft propeller and tail rotor blade conspicuity with paint. Report No 72-15, U. S. Army Aeromedical Research Laboratory, Fort Rucker, Alabama, May 1972.
- Crosley, J. K., Bailey, R. W., och Nix, M. S., Jr. (1967) *Improving Helicopter Conspicuity Through the Use of Painted Main Rotor Blades*, Report No. 68-2, U. S. Army Aeromedical Research Laboratory, Fort Rucker, Alabama, October 1967.
- Davidoff, J. (1975). *Differences in visual perception: The individual eye*. Elsevier.
- Donofrio, R. L. (2011). The Helmholtz-Kohlrausch effect. *Journal of the Society for Information Display*, 19(10), 658-664.
- Ernsting J. (Editor), Nicholson A. N. (Editor), Rainford D. J. (Editor), Aviation Medicine 3rd Edition, CRC Press, 1999, ISBN-13: 978-0750632522.
- Federal Aviation Agency, Applied Psychology Corporation. (1962). *Outdoor Test Range Evaluation of Aircraft Paint Patterns*. (AD No. 407). Retrieved from <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/407910.pdf>
- Federal Aviation Agency, Applied Psychology Corporation. (1961). *The Role of Paint in Mid-Air Collision Prevention*. (AD No. 273691). Retrieved from <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/>
- Federman, P. & Siegel, A. (1965) Development of a paint scheme for increasing aircraft detectability and visibility. *Journal of Applied Psychology*, 49(2), 93.
- Geldard, F. A., O'Hehir, R., & Gavens, D. (1953). *The human senses* (pp. 87-93). New York: Wiley.

- Haegerstrom-Portnoy, G., Schneck, M. E., Lott, L. A., Hewlett, S. E., & Brabyn, J. A. (2014). Longitudinal increase in anisometropia in older adults. *Optometry and vision science: official publication of the American Academy of Optometry*, 91(1), 60.
- Hodgson, W. (1959). *High-Visibility Painting Design for Aircraft* (No. NEL-910) Navy Electronics Lab San Diego CA.
- Hunt, R. W. G., & Pointer, M. R. (2011). *Measuring colour*. John Wiley & Sons.
- Lazo, J. *Investigation of Color Schemes to Improve Propeller Noticeability*. Report XG-T-213, Naval Air Materiel Center, May 1954.
- Morris, A. och Porter Horne, E. (1959) Visual Search Techniques. Proceedings of a *Symposium sponsored by the Armed Forces – NRC Committee on Vision*. Washington D.C.
- Pelli, D. G., & Bex, P. (2013). Measuring contrast sensitivity. *Vision research*, 90, 10-14.
- Ratnasingam, S., & Anderson, B. L. (2017). What predicts the strength of simultaneous color contrast?. *Journal of vision*, 17(2), 13-13. Royal Airforce (1993), Trial Report Trial Longview. Stage 2. August 1993. CTTO/72187/TRIALS.
- Shi, V., Cui, J., Troncoso, X. G., Macknik, S. L., & Martinez-Conde, S. (2013). Effect of stimulus width on simultaneous contrast. *PeerJ*, 1, e146.
- Siegel, A. I., och Federman, P. (1965). *Development of a paint scheme for increasing aircraft detectability and visibility*. *Journal of Applied Psychology*, 49(2), pp. 93-105.
- Siegel, A. & Lanterman, R., (1963) *Aircraft Detectability and Visibility: 6. A Qualitative Review and Analysis of the Utility of Florescent Paint for Increasing Aircraft Detectability and Conspicuity*. (AD No. 298331). Philadelphia. PA: U.S. Naval Air Material Center.
- Smith, W.H. (1963) Fluorescent paints and mid-air collisions. In *US Army Aviation Digest*. September 1963, pp. 24-26.
- Smith, H.J. (1981) *Daylight fluorescent color – the color that shouts*. Transportation Circular 229. Transportation Research Board, Washington D.C.
- Stuart, P.K. och Hughes, G. W. (2010) *The Effect of Rotor Tip Markings on Judgements of Rotor Sweep Extent*. Air Operations Division. DSTO Defence Science and Technology Organisation.
- Tarbert, B. och Wierzbowski, T. (2009) *Comprehensive Set of Recommendations for Suas Regulatory Development*, FAA Small Unmanned Aircraft System Aviation Rulemaking Committee.
- Transportstyrelsens föreskrifter om obemannade luftfartyg, Transportstyrelsens Författningssamling (TSFS) 2017:110.
- UK Civil Aviation Authority. (2013) *Safety Sense Leaflet: Collision Avoidance*. Based on ICAO Circular 213–AN/130.
- US Army (1986). *Painting and Marking of Army Aircraft*. Technical Manual. Headquarters. Department of the Army. Washington, D.C., 12 June 1986.
- Welsh, K. W., Vaughan, J. A., och Rasmussen, P. G. (1978). *Conspicuity assessment of selected propellor and tail rotor paint schemes*. (Report No. FAA-AM-78-29). Oklahoma City, Oklahoma: FAA Civil Aeromedical Institute.
- Williams, K. och Gildea, K. (2014). *A Review of Research Related to Unmanned Aircraft System Visual Observers*. (No. DOT/FAA/AM-14/9). Washington, DC: Federal Aviation Administration Office of Aerospace Medicine.
- Wulf, G., Hancock, P. A., och Rahimi, M. (1989). Motorcycle conspicuity: An evaluation and synthesis of influential factors. *Journal of Safety Research*, 20(4), 153–176.

<https://www.vardfokus.se/tidningen/2010/nr-3-2010-3/ambulans.-gront-pa-bilarnafordrojer-utryckningarna/>, hämtat november 2019.

<https://www.classicwarbirds.co.uk/articles/the-history-of-lead-assembly-ships-of-the-eighth-air-force.php>, hämtat november 2019.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Assembly\\_ship](https://en.wikipedia.org/wiki/Assembly_ship), hämtat november 2019.

# Bilaga

## Svarsblankett

Testfall: ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨  
ID: 00

Svara på frågorna genom att fylla i hela cirkeln så här ● EJ så här ☑ ☒

Ändra ditt svar genom att radera markeringen helt och i andra hand genom att kryssa över det felaktiga svaret.

Färg 1 är den färg som visas längst till vänster och färg 7 den som visas längst till höger under försöket.

Hur uppfattade du kontrasten på färgerna mot bakgrunden?							
	Väldigt låg kontrast			Väldigt hög kontrast			
Färg 1	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
Färg 2	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
Färg 3	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
Färg 4	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
Färg 5	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
Färg 6	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
Färg 7	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦

Svara på följande frågor genom att skriva en siffra 1-7 i rutan nedanför numret på färgexemplet.

1	Rangordna färgexemplen i ordning från <b>lägst kontrast (1)</b> till <b>högst kontrast (7)</b>						
	Färg 1	Färg 2	Färg 3	Färg 4	Färg 5	Färg 6	Färg 7
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	Rangordna färgexemplen i ordning från den färg du <b>helst inte (1)</b> skulle se på flygplanet till den färg du <b>helst (7)</b> skulle se på flygplanet.						
	Färg 1	Färg 2	Färg 3	Färg 4	Färg 5	Färg 6	Färg 7
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Tack för din medverkan!

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00  
Fax: 08-55 50 31 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)