

Slutrapport SBUF

Solljusbelysning via glasfiber– en strålande idé

Lisa Falkenström, Skanska Sverige AB

Hållbar affärsutveckling

2016-01-08

Innehåll

1. Bakgrund	3
2. Syfte	4
3. Metodik	4
3.1 Installationen	4
3.2 Upplevelsen.....	4
3.3 Energibesparingen	6
4. Resultat	6
4.1 Installationen	6
4.2 Upplevelsen.....	11
4.3 Energibesparingen	15
5. Diskussion och slutsats.....	15
6. Förslag på fortsatt arbete	16
7. Referenser	17

1. Bakgrund

Skanska har deltagit i ett utvecklingsprojekt där en helt ny typ av optisk glasfiber har utvecklats och testats med medel från Vinnova. Projektet "Utveckling av kostnadseffektiv optisk fiber för solljusbelysning" drevs av Glafo tillsammans med Acreo, Uppsala Universitet, Parans, Glasma, Sibelco, Fibertronix, Akademiska hus och Trafikverket. Skanska åtog sig att installera en demoversion i ett projektkontor i anslutning till centralsjukhuset i Karlstad, en demoversion av en ny typ av solljusbelysning som är utvecklad inom ramen för Vinnovaprojektet.

Människor tillbringar allt mer tid inomhus och därmed blir belysningsfrågor allt viktigare. Studier visar att dagsljuset är viktigt för människans välbefinnande, hälsa och arbetseffektivitet. Ett viktigt argument för att leda in dagsljus via fiber i olika byggnationer är att människor mår bättre av att vistas i miljöer med mer naturligt ljus. Upplevelsen av ett naturligt dagsljus med andra färgskiftningar kopplas starkt till välbefinnande med positiva effekter både fysiska och psykiskt (Boubekri, 2012). Det finns förhoppningar om att glasfibern kan återspegla det naturliga dagsljuset ännu mer än plastfibern på grund av ett annat ljusspektrum som uppstår (Lingfors, D & Volotinen, T, 2013).

Den stora skillnaden i solljusbelysningen inom Vinnovaprojektet är att en glasfiber har utvecklats som ljusledare istället för plastfibern. Glasfibern ansluts till Parans armatur för solljus, en armatur som funnits på marknaden ett kortare tag, då med plastfiber som ljusledare. Plastfibern har dock en stor begränsning i att det bara går att leda ljuset ca 20 m, sedan blir förlusterna av ljus för stora och ljuskvaliteten blir för dålig. Glasfibern kan få räckvidd upp mot ca 120 m och därmed möjliggöra ett betydligt större användningsområde och en bättre ljuskvalitet. Genom att utveckla glasfiber för att transportera dagsljus skapas en betydligt längre räckvidd och bättre ljuskvalitet som bättre överensstämmer med solens ljus. Därmed skulle tekniken kunna användas för större byggnader och fler mörka delar i byggnaden/anläggningen får möjlighet till ett naturligt dagsljus (Stålhandske, C & Norin, L, 2014).

Den här slutrapporten hanterar uppföljning och utvärdering av solljusbelysningen, som inte hanterades inom ramen för Vinnovaprojektet. Projektet som finansierades av Vinnova handlade främst om en teknikutveckling, där resultatet visar stor potential av själva glasmassan och att det går att transportera solljus upp till 75 m vilket är tre ggr så långt som i en plastfiber (Stålhandske, C & Norin, L, 2014). Vinnovaprojektet har inneburit många lärdomar under tillverkningsprocessen, men i denna slutrapport sammanfattas projektet utifrån ett användarperspektiv. Tekniken har många fördelar men utveckling av en helt ny glasfiber har inte varit problemfri. Det visade sig svårt att tillverka kablar med de knippen av tjocka glasfibrer som krävdes för att passa Parans system; glasfibern gick av och många kunde inte användas. För alla tillverkade kablar uppstod fiberbrott vilket gjorde att den totala mängden ljus som kom igenom var mindre än förväntat. Leveransen till Skanskas projektkontor blev uppskjuten flera gånger. Från början skulle Skanska få fler kablar av glasfibrer som var mellan 80 och 100 meter långa, men på grund av svårigheter med tillverkning så blev utfallet till slut en kabel med glasfiber på 75 meter och en kabel med glasfiber på 10 meter. Därtill kompletteras solljusenhet med fyra plastfibrer på 10 meter. Fördelen med två olika fibrer samt två olika längder på glasfibern är att det möjliggör en jämförelse av ljuset. Det var på dessa premisser vi gjorde en ansökan till SBUF.

2. Syfte

Syftet med projektet "Solljusbelysning via glasfiber– en strålande idé" har varit att följa upp och utvärdera demonstrationen med solljusbelysning. Projektet frågeställningar har varit följande:

- Vad är energibesparingspotentialen för demonstrationsprojektet?
- I vilken utsträckning kan solljusbelysningsenheten användas istället för elbelysningen?
- Vilka är lärdomarna av installationen i en befintlig byggnad?
- Vilken upplevelse ger ljuskvaliteten av solljusbelysningen som helhet?
- Vilken upplevelse ger ljuskvaliteten för glasfibern i jämförelse med plastfibern för demonstrationsprojektet?

Det har varit möjligt att utvärdera solljusbelysningen som helhet men på grund av för dålig ljuskvalitet och installationstekniska förutsättningar har det inte gått att jämföra glasfibern och plastfibern. Inom resultatdelen kommer tre olika områden att presenteras; installationen, upplevelsen och energibesparingen. Parans kunde även utvärdera solljusbelysningen med glas- och plastfiberkablar genom en okulär bedömning på plats.

3. Metodik

3.1 Installationen

Produktionschefen Bo Andersson på Skanska och elentreprenören Leif Fransson på Midroc Electro ansvarade för installationen på projektkontoret. Inför installationen fick projektet instruktioner genom ett telefonmöte samt korrespondens via mail. Uppföljningen av installationen genomfördes av Parans genom kvalitativa samtal, både på telefon och på plats vid projektkontoret i Karlstad. Genom ett okulärt platsbesök kunde Parans dra flera slutsatser från installationen och bedöma ljuskvaliteten.

3.2 Upplevelsen

Strukturerade djupintervjuer har genomförts av två studenter från Jönköpings tekniska högskola med fokus på upplevelsen av solljusbelysningen som helhet. Intervjuerna har genomförts i två steg, genom en förstudie samt en efterstudie. Sex personer från olika discipliner och med olika bakgrund valdes ut till både för- och efterstudien; Skanska, Landstingsfastigheter, Landstinget i Värmland, Midroc, Sweco Arcitect och COWI. Alla personerna har en viktig roll i byggnationen av sjukhusprojektet och har använt det aktuella rummet i stor utsträckning. Med denna metod kan man få information om kvalitativa aspekter som är svårt att få fram genom enkäter. Intervjun bestod till stor del av öppna frågor som ställs efter olika teman. Vid intervjutillfällena användes samma frågor i en intervjuguide vilket gör att intervjun ser likartad ut för alla intervjupersoner, även om frågorna är öppna. Det första intervjutillfället genomfördes i början på februari i det aktuella rummet för demonstrationsenheten, innan installationen genomfördes.

Det andra intervjutillfället var tänkt att genomföras tre veckor efter genomförd installation. Det var en tight tidsram på grund av studenternas hålltider för uppsatsen, men eftersom enheten slutade fungera efter en veckas tid blev det andra intervjutillfället inte som planerat. Den enda chansen för en utvärdering var under en veckas tid där två parametrar skulle passa ihop, dels att intervjupersonerna hade mötestid i det aktuella rummet och att solen sken vid just det tillfället. Studenterna genomförde ändå en uppföljande intervju via telefon med fem av de sex utvalda för intervju (en person hade inte

vistats något i rummet med solljusbelysningen), en av brukarna hade dock bara vistats i solljuset i 15 minuter och de andra fyra i två timmar. Därmed är det svårt att dra några rättvisande slutsatser, den uppföljande intervjun bygger mer på ett första intryck.

För att komplettera de uppföljande intervjuerna har en loggbok fyllts i mellan 20:e mars 2015 och 30:e juni 2015. Ett syfte med loggboken var att utvärdera själva upplevelsen i förhållande till hur mycket solljusbelysningen kan användas över tid. Solljusbelysningen utvärderades som helhet, det var inte möjligt att utvärdera skillnaden på plast- och glasfibern som det var tänkt från början då demonstrationsenheten inte fungerade utan byttes mot Parans solljusbelysningsenhet med enbart plastfibrer. Tio personer som använder rummet i stor utsträckning ombads att fylla i loggboken efter varje gång rummet användes. Denna metod ger ett mer kvantitativt resultat, dock förutsätter det att de utvalda personerna använder rummet för sina möten och kommer ihåg att fylla i loggboken. Uppstartsmöte med genomgång av syftet och loggboken genomfördes. Mallen för loggboken ser ut enligt nedan.

Loggbok för utvärdering av solljusbelysning i mellanrummet

Instruktion: Ska fyllas i av utvalda användare av rummet! Det går att stänga av solljusbelysningen via en sunswitch.

Upplevelsen av solljusbelysningen kommer att värderas på en skala 1 till 5. 1= dålig upplevelse 2= mindre bra upplevelse 3= godkänd upplevelse 4= bra upplevelse 5=utmärkt upplevelse

Datum	Tid	Användes solljusbelysningen?	Användes elbelysningen?	Upplevelsen av solljusbelysningen på en skala 1 till 5

Inom Vinnovaprojektet framfördes önskemål om att mäta glasfibers färgspektrum efter installationen, vilket berör ljuskvalitet samt intensiteten i de olika våglängdsområdena. Kortfattat kan man säga att den upplevda ljusstyrkan bestäms av det gröna ljuset medan färgupplevelsen avgörs av skillnaden i absorption mellan det röda och blåa ljuset. Glas och plast absorberar ljus inom olika våglängdsområden olika mycket vilket ger olika intensitetsfördelning hos det utgående ljuset inom det synliga området. Men även de två olika längderna på glasfibrerna påverkar det utgående ljuset. Dels är det absorptionen i glaset och dels är det risk för att det sätt som kabeln skapats på kan ge förluster som varierar med våglängden. Parans hade till uppgift att utföra denna mätning av våglängden av ljuset för de tre olika kablarna, men det gick att göra en okulär bedömning av ljusets färg att mätningen blev irrelevant (Nilsson, K.R, 2014)

3.3 Energibesparingen

Loggboken har varit underlag för att utvärdera energibesparingspotentialen. Vid varje tillfälle som rummet använts har de 10 personerna loggat användningen av solljusbelysningen när de vistats i rummet. Energibesparingen utgör de fall då enbart "JA" kryssats i för användningen av solljusbelysningen och "Nej" för elbelysningen. Elbelysningen styrs enbart av en av- och påknapp, vilket möjliggör en enkel uträkning av besparade kWh under de timmar som elbelysningen inte använts. I verkligheten finns det möten då elbelysningen kunnat stängas av under mötets gång, tack vare att solstrålarna hittar fram under en dag med växlande molnighet. Dessa timmar har inte räknats med på grund av en osäkerhetsfaktor i användande under mötet.

4. Resultat

4.1 Installationen

Installationen av solljusbelysningen gjordes i en befintlig lokal som ägs av Landstinget i Värmland. Lokalen används som ett projektkontor för projektörer och entreprenörer som arbetar med projektet "Ersättningslokaler OP-Öst" (arbetsnamn "Hus 60") vilket kommer samla operationsverksamheten på centralsjukhuset i Karlstad, samt en tillhörande ombyggnation i befintliga lokaler. De aktörer som har stadigvarande arbetsplatser på projektkontoret är bland andra: Landstinget i Värmland, Skanska, Sweco, COWI, Midroc Electro, LG Contracting och Imtech.

Det är främst Landstinget, Midroc och Skanska som har varit involverade i utvärderingen och uppföljningen av solljusbelysningen, Skanska och Midroc har genomfört installationen. Inom Vinnovaprojektet diskuterades inte storleken på rummet i förhållande till storleken på armaturer. Rummet som demonstrationen av solljusbelysningen valdes att installeras i är ett 10- 15 m² stort konferensrum där det kan sitta ca 15 personer. Rummet saknar fönster och har således inget dagsljus innan installationen av solljusbelysningen genomförs. Konferensrummet ligger på översta våningen och solfångarmottagare placerades på taket rakt ovanför rummet, se bild 1. 3,5-4 m av kablarna finns ute på själva taket och ligger inne i den medföljande slangen som skyddar mot väder och vind. Ett "huvud", se bild 2, konstruerades på taket där slangen går in i byggnaden. Slangen mynnar ut precis under yttertaket. Den långa kabeln ligger i cirklar med ca 3 m diameter på tråd kabelstegar mellan yttertaket och innertaket. Det innebär att endast den del av kabeln som verkligen behöver ligger utomhus.

Solljusbelysningsenheten består av sex fiberkablar som kopplas till tre armaturer i undertaket där de två glasfiberkablarna kopplas till en armatur och de fyra plastfiberkablarna fördelas på de andra två armaturerna. Således är varje armatur kopplad till två fiberkablar. De armaturer som föreslogs inom Vinnovaprojektet heter L2 Pure. Dessa är 60x60 cm och monteras enklast i akustikundertak.

Solljusbelysningen kan styras via en sun-switch för att kunna stänga av dagsljuset vid de tillfällen ett mörkt rum behöver användas, t.ex. vid användning av projektor. Elbelysningen består av två lysrörsarmaturer med två 36W lysrör i varje armatur. Vilken typ av enhet för solljusbelysningen som skulle användas bestämdes inom ramarna för Vinnovaprojektet och för den valda enheten går det inte att automatiskt reglera ljusmängden från elbelysningen i förhållande till solljusbelysningen. För en mer avancerad styrning av belysningen som helhet hade det tillkommit kostnader.

Installationen av solljusenheten med glasfiber gjordes under mars år 2014 med början på måndagen och klar installation på fredagen. Efter en vecka slutade enheten att fungera på grund av att glasfibern inte var anpassad till mottagarenhet (se avsnitt 4.1.2). Därför installerade en helt ny solljusenhet med sex plastfibern i augusti/september samma år. Innan vi hann börja utvärdera enheten via loggbok blev det en mörkare årstid och därmed sköt vi fram utvärderingsperioden för loggboken till våren 2015.



Bild 1. Solfångarmottagare, som anpassar sig efter solens rörelse



Bild 2. Slangen med både glas- och plastfibern leds in genom det svarta "huvudet" på taket

4.1.1 Böjradie

Den stora skillnaden mellan plastfiber och glasfiber ur ett installationstekniskt perspektiv är att det krävs en större böjradie för glasfiberkabeln. Kabeln blir tjock och svår att böja eftersom fibrerna är tjocka, för demonstrationsprojektets kablar krävdes många/tjocka fibrer för att fånga upp en viss diameter av fokusfläcken i Parans solfångarpaneler. I siffror kan det beskrivas som att plastfibern klarar av en böjradie på 5 cm medan glasfibern kräver 15 cm. Dessa värden är för långvarig installation och permanenta skador på fibern uppstår inte förrän man kommer ner mot 7-8 cm för glasfibern. Skillnaden illustreras i bild 3 nedan.

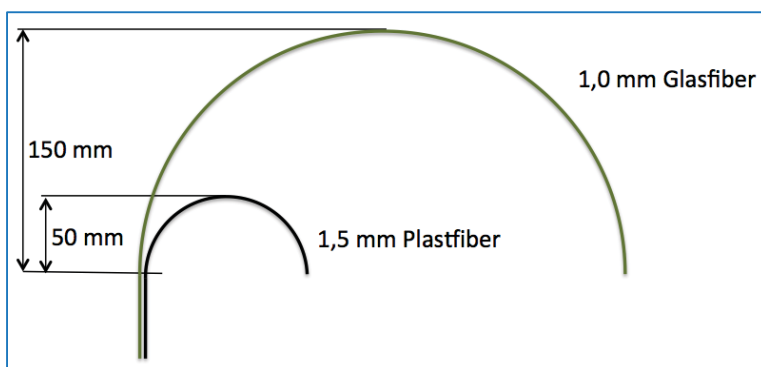


Bild 3. Böjradie

Inför installation gavs instruktioner till Midroc och Skanska att vara försiktiga så att fiberkabeln inte knäcks. Nedan punkter kommunicerades till projektet:

- Skapa utrymme för en utökad böjradie.
- Hantera och böj rören försiktigt då de kan kollapsa vid små böjradier eller att fiberändarna åker in eller ut i SMA-donet.
- Böj inte kabeln för mycket runt hörn och på kabelstegkurvor.
- Dra inte fast kabeln för hårt på kabelstegen med stripeband.
- Dra inte i kabeln för mycket eller för hårt vid installationen.

Hantering av böjradien var inget problem för denna demonstrationsenhet. Den kortfattade slutsatsen är att det krävs försiktighet och hänsyn till böjradien vid installationen. Baserat på erfarenheter från installationer samt diskussioner med installatörer av kommunikationsfibrer har Parans planer på att hantera böjradie-problematiken på följande två sätt.

- Med varje system skicka med ett antal färdiga rör eller skenor med korrekt böjradie. Dessa är då tänkta att användas där man gör 90-gradiga riktningförändringar.
- Tillverka fiberkabelns hölje och kärna (kabeln består av fyra fibrer samt en plastkärna) på ett sådant sätt att böjning under tillåten böjradie medför ett märkbart motstånd.

Rent tekniskt är det möjligt att tillverka kabeln på ett sådant sätt att böjning under accepterad radie är omöjlig men dessa lösningar går inte att motivera prismässigt (Nilsson, K. R, 2015).

4.1.2 Vikt

Efter genomförd installation fungerade solljusbelysningen i ungefär en vecka. Problemet var att

solfångarmottagaren fastnade i ett visst läge. Trots en ominstallation fungerade inte solljusbelysningen och Parans antar att det beror på modifieringar av mottagaren som var nödvändiga för att hantera glasfiberkablarna, men som förändrade viktförhållandet och tyngdpunkten för själva solfångarmottagaren.

Då glasfibern väger mer än plastfibern och då glasfibern dessutom kommer att kunna levereras med längre kabellängder medför det en utmaning vid själva kabeldragningen och installationen. Vid kabeldragning inomhus används ofta befintliga ventilationsutrymmen, hisschakt, andra håligheter och kabel-stegar varför avlastning oftast sker naturligt. Problem kommer däremot uppstå då längre lodräta passager genomför utanför fasad eller i schakt. Kabelns egen vikt kan helt enkelt leda till skador på kabeln vid t.ex. övergångar över kanter eller vid infästning på taket. Därför måste rutiner tas fram för att säkerställa upprepade dragavlastningar längs längre lodräta passager. Uppskattningsvis behöver det fästas en dragavlastning ungefär var 15-20:e meter för att undvika risk för skador på fibern, se bild 4, 5 och 6.

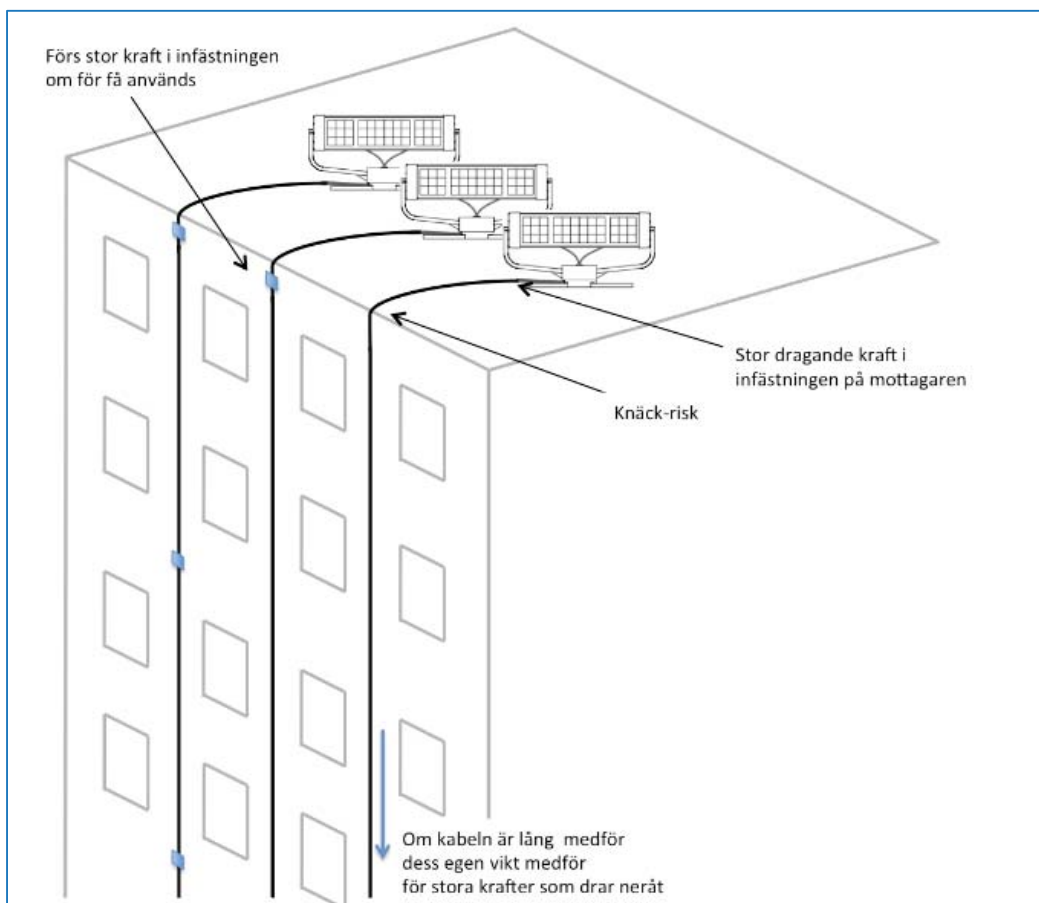


Bild 4. Dragavlastning med jämna mellanrum kommer krävas vid längre lodräta passager utan naturlig avlastning.

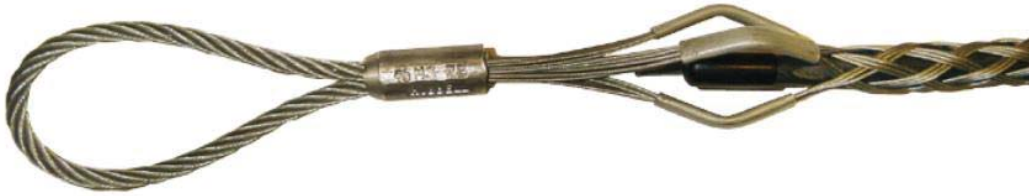


Bild 5. Dragavlastning kan ske på olika sätt, ett exempel är avlastnings-/dragstrumpa som bultas/fästs i fasad samt kabelgenomföringar som fästs i särskilda hållare.



Bild 6. Ett annat exempel är att använda samma förtätning vid genomföringar i fasad eller tak (för att uppnå en hög IP-klass).

4.1.3 Ljusqualität och skador

Då Parans besökte projektkontoret på Karlstads centralsjukhus konstaterades det att glasfiberkablarna inte höll tillräcklig bra ljusqualität, det var för många brott i kabeln. Parans kunde inte svara på om felet ligger vid själva glasmaterialet, dragningen eller paketeringen i fiber-kablar. Däremot var det tydligt att ljuset är alldeles för rödaktigt för att vara intressant. Ljus i glasfiber kommer alltid att ha en viss förskjutning åt det röda hållet p.g.a större spridning av kortare våglängder. Denna effekt ökar naturligtvis med fiberlängden och det var inte på förhand uppenbart hur detta skulle uppfattas av det mänskliga ögat. Ambitionen var att Parans skulle mäta ljusqualität med en spektrometer för att analysera vilka våglängder ljuset innehåller. Men då slutsatser kunde dras med blotta ögat fanns det ingen anledning att göra en mätning, se bild 7. Ljuset från glasfibrerna var även för svagt, vilket dels kan förklaras av den relativt höga absorptionen för blått ljus i silicaglas (ca 50% förlust av 400nm våglängd över 75m), men framförallt förorsakat av att flertalet fibrer helt enkelt är avbrutna. Om en fiber är av kan fortfarande något ljus komma igenom, om fiberändarna ligger nära varandra (Nilsson, K.R, 2014).



Bild 7. Solljusbelysning med både glasfiber- och plastfibrer i konferensrum. Den mittersta armaturen är kopplad till glasfibrerna.

Parans förhoppning var att kunna utläsa vilka fibrer som var bra och vilka som var dåliga efter genomförd installation. Tyvärr gick det inte att bedöma då allt ljus var avsevärt påverkat både med avseende på ljusmängd och färgskiftning. Istället för att lägga tid på att utreda vad som kunde vara felet fick Skanskas och Landstingets projektkontor erbjuda om att få en ny enhet med enbart plastfibrer, vilket accepterades. Därmed har det inte varit möjligt att göra en jämförelse mellan ljuskvaliteten för glasfibrer och plastfibrer för den första solljusbelysningsenhet som installerades på projektkontoret. Den nya solljusbelysningen med plastfibrer installerades utan problem i augusti/september 2014.

På Parans produkter med plastfibrer är kablarna fastsatta i själva mottagarenheten vilket medför att hela mottagaren behöver bytas ut om en plastfibrer skadas. Då glasfibrer är något känsligare för skador är lärdomen att nästkommande produkt designas så att varje fiberkabel går att ta loss och bytas ut individuellt vid en eventuell skada på en glasfiber (Nilsson, K.R., 2015).

4.2 Upplevelsen

4.2.1 Solljusets färgspektrum

Belysning spelar en avgörande roll för att belysa miljön och för att ge kontraster till den. Solen är den absolut bästa ljuskälla vi har att tillgå och är helt oersättlig ur den aspekten. Naturligt dagsljus visar på stora hälsomässiga fördelar (Boubekri, M, 2012). Glasfibrer har starkare absorption i blått vilket kan ge en röd ton åt det transmitterade ljuset medan plastfibrer har starkare absorption i rött vilket kan ge ett ljus som uppfattas som "kallt" (Stålhandske, C & Norin, L, 2014).

Ambitionen var att Parans skulle utföra en mätning av våglängden av ljusets färgspektrum för de tre olika kablarna; den korta glasfibrer, den långa glasfibrer och plastfibrer. Men då glasfibrer inte höll

måttet skulle det inte ge något extra värde att mäta på den installerade enheten, resultatet skulle inte bli representativt. Parans ansåg inte att det gick att rädda den installerade enheten för att göra en bra bedömning av ljuskvaliteten, det var mer relevant att gå vidare och utvärdera en ny enhet och upplevelsen av det naturliga solljuset som helhet, oavsett glas eller plast.

4.2.2 Strukturerade djupintervjuer

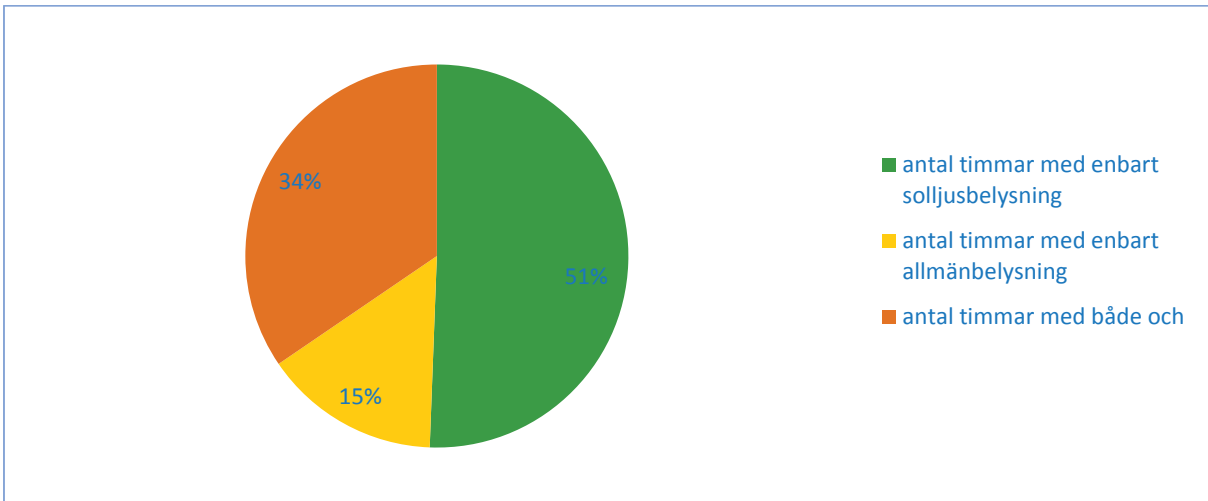
Skanska har samarbetat med två studenter från Jönköpings tekniska högskola som läst ljusdesign. Strukturerade djupintervjuer har utförts genom en förstudie samt efterstudie för att kunna jämföra upplevelsen av ljuset innan och efter installationen. Studenternas önskemål var att utvärdera solljusbelysningen som helhet, oavsett plast- eller glasfiber.

Det som lyftes fram i förstudien var att rummet upplevdes negativt eftersom det saknade fönster. Ljusnivån från allmänbelysningen uppfattades som tillräcklig för att arbeta i, elbelysningens färgtemperatur, varmt eller kallt, uppfattades olika av de intervjuade personerna (Jonsson, S & Söderström C, 2014).

Slutsatserna från efterstudien är mestadels positiva. Trots en liten vistelse i solljusbelysningen har fyra av fem brukare en positiv uppfattning av solljusbelysningen i sin helhet. Solljuset upplevdes som trevligt, behagligt och gav känslan av att ha ett fönster i taket. I jämförelse med allmänbelysningen upplevdes solljuset ha en kall färgtemperatur. Förväntningarna var att solljuset skulle få dem att må bättre, tyvärr går det inte att dra några slutsatser om det på grund av den korta vistelsen i solljusbelysningen. Däremot upplevde några att solljusbelysningen ger känslan av att vistas i naturligt dagsljus. Det tydligaste resultatet från efterstudien var att ljusnivån från solljusbelysningen var för låg för att kunna läsa och skriva i, det ansågs som ett måste med kompletterande elbelysning. De som använt projektorn i kombination med solljusbelysningen tyckte att det var mer passande. En slutsats är att solljuset behöver kompletterande belysning i denna typ av rum. Flera ville även att elbelysningen skulle gå att dimra, för att anpassa ljusnivån till olika uppgifter och som komplement till solljuset. Brukarna tyckte att solljusarmaturerna skulle användas i rum med för lite eller inget dagsljusinsläpp (Jonsson, S & Söderström C, 2014).

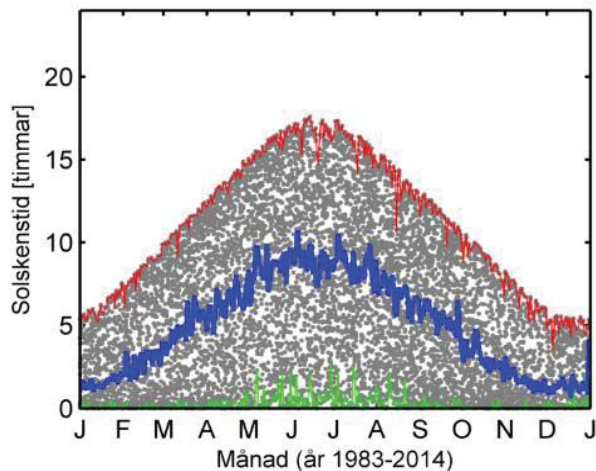
4.2.3 Loggboken

Resultatet från loggboken gäller den nya solljusbelysningen med enbart plastfiberkablar och presenteras genom några diagram, tabeller och beräkningar. Av alla de loggade tillfällena för möten i konferensrummet har solljusbelysningen kunnat användas hälften av mötestiden (51%), utan komplettering av elbelysningen. Både elbelysningen och solljusbelysningen har använts en tredjedel (34%) av de loggade mötestillfällena, se figur 1.

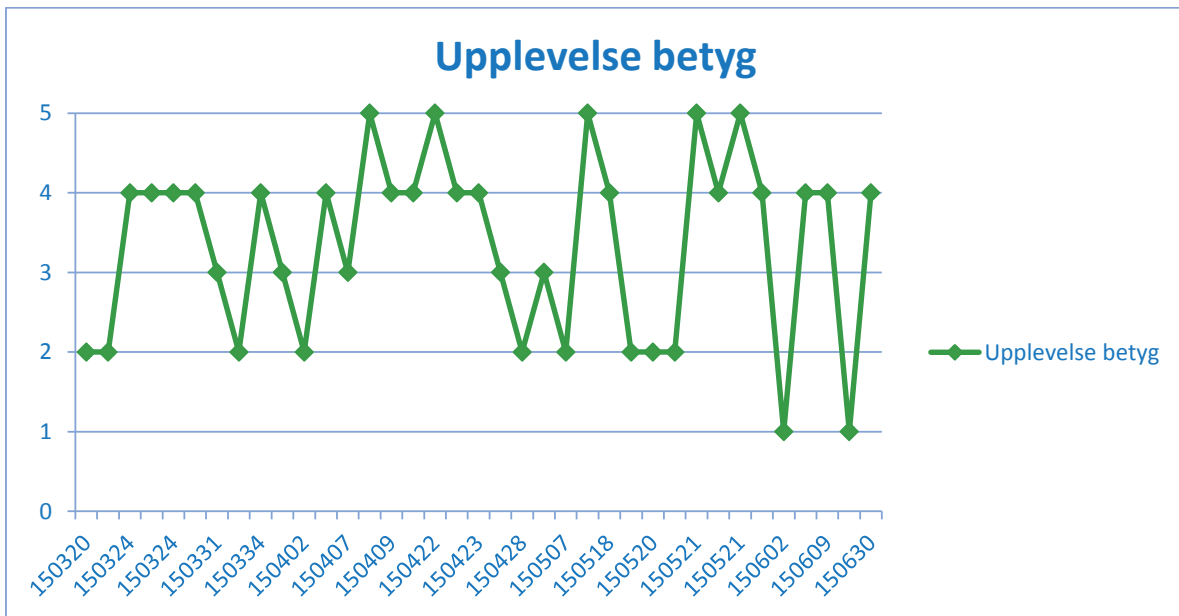


Figur 1. Användning av solljusbelysningen

Solskenstimmarna ökar konstant under tiden då loggboken fylls i, se figur 2 (SMHI, 2015), men det har inte påverkat upplevelsen av solljusbelysningen under den aktuella utvärderingsperioden, se figur 3. Figur 3 visar brukarnas upplevelse av solljusbelysningen från 1 till 5 fördelat över tid, samt då svaret varit ja på frågan om solljusbelysningen användes i loggboken. Figuren inkluderar de tillfällen det varit växlande molnighet eller för svag solljusbelysning, vilket resulterat i att både solljusbelysningen och elbelysningen använts under mötet.

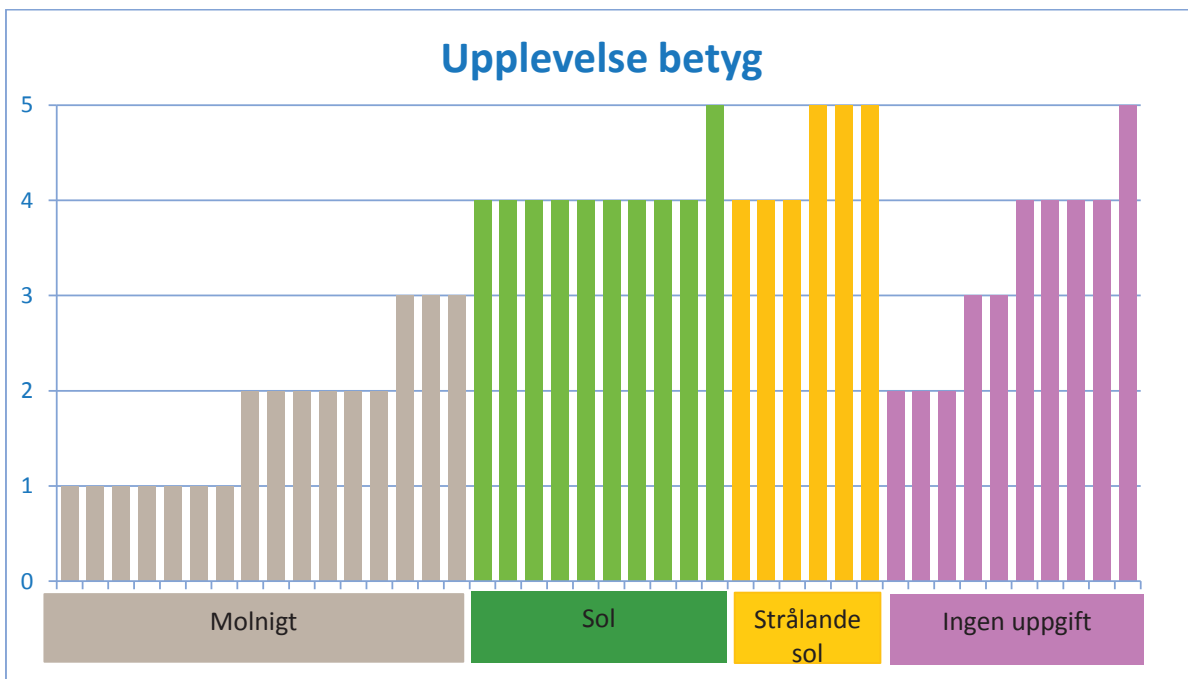


Figur 2. Årsvariation av solskenstid i timmar från Karlstad. Grå punkter visar dygnsvärden (ackumulerade) för samtliga dagar under perioden, blå kurva visar medelvärden för varje dag på året över samtliga år, röd och grön kurva visar max respektive min värden för varje dag på året över samtliga år.



Figur 3. Upplevelsen av solljusbelysningen över tid

I loggboken fick användarna även möjlighet att kommentera vädret, vilket många gjorde. Därmed har det varit möjligt att analysera upplevelsen av rummet i förhållande till användarnas beskrivning av vädret, som förenklats till "Moln", "Sol" och "Strålande sol". När det varit sol eller strålande sol har upplevelsen från solljusbelysningen i rummet varit bra eller utmärkt, många beskrev även ljuset som behagligt. Figur 4 visar alla loggade tillfällen.



Figur 4. Upplevelse kopplat till beskrivning av väder vid alla loggade tillfällen

4.3 Energibesparingen

Naturlig dagsljusbelysning ökar människors välbefinnande och kan samtidigt vara energibesparande. Med naturligt dagsljus kan elektriska ljuskällor ersättas till viss del under året. Solljusbelysning ger ljus men inte värme (internlast), då värmestrålningen i stor utsträckning filtreras bort vid insamlingen av solljuset. Energikostnaden för kylning kan därmed bli lägre i jämförelse med elbelysning. Genom att bättre utnyttja solen för belysning inomhus finns det alltså potential till betydande minskningar av såväl kostnader som CO₂-utsläpp. Det finns många situationer då inomhusbelysningen är påslagen trots att det är fullt dagsljus ute, i mindre och större kontorsbyggnader, varuhus, offentliga byggnader, m.m. (A2PBEER, 2013)

I konferensrummet där solljusbelysningen används sitter det två armaturer med två lysrör vardera (36 W/lysrör). Den sammanlagda installerade effekten som använts när strömbrytaren sätts på är 144 W. Ur loggen har kunnat utläsas hur ofta solljusbelysningen använts istället för elbelysningen, vilket ger oss en uppfattning om energibesparingen. Ibland har noterats att elljusbelysning delvis använts i kombination med solljusbelysningen under mötet. Även om det finns en energibesparing i de fall då elbelysningen stängts av under delar av mötet i kombination med att vädret blir soligare finns det en osäkerhetsfaktor kring hur stor del av mötestiden som solljusbelysningen kunnat vara igång. Energibesparingen beräknas därför enbart från de mötestillfällen där endast solljusbelysningen användes, vilket utgör hälften av mötestiden och därmed en halverad energianvändning (51%). För detta rum innebär det 5 kWh under de loggade mötestimmarna (total 67 timmar). Låt säga att solljusbelysningen används 222 dagar om året med en genomsnittlig användning på 4 h per dag, tillsammans med kompletterande elbelysning. Om vanlig elbelysning använts skulle det innebära en energianvändning på 128 kWh för ett rum med storleken 10-15 kvadratmeter. Om solljusbelysningen skulle användas vid hälften av dessa tillfällen skulle energibesparingen alltså bli 64 kWh per rum (10-15 m²) och år.

5. Diskussion och slutsats

Att utveckla och ta fram en helt ny glasfiber visade sig vara komplicerat. Framförallt var det svårt att skapa en fiber som har tillräckligt god ljuskvalitet för både korta och långa kablar, utan att riskera brott på fibern. Utifrån ett användarperspektiv är det svårt att se potentialen av glasmassan i tillverkningsprocessen. Ljuset färg och styrka från glasfibern i demonstrationsenheten hade en märkbar skillnad från plastfiberkablarna. En viktig lärdom utifrån ett användarperspektiv, är att utvärderingen av ljuskvaliteten från glasfibern borde hanterats inom framställningen och utvecklingen av en helt ny glasfiber, innan glasfibern används som ett demonstrationsprojekt. Att kombinera produktutveckling och demonstrationsprojekt av färdiga produkter blir problematiskt utifrån ett användarperspektiv, även om det är ett upplägg som många gånger förordas av utvecklingsinstitut. Problemen med ljuskvaliteten har medfört att det inte varit möjligt att utvärdera skillnaden mellan glasfibern och plastfibern, som var ett av flera syften med detta projekt.

Installationen har gått bättre att utvärdera inom ramarna för detta upplägg. Den tydligaste lärdomen är att viktförhållandet för en längre och tyngre kabel har en stor betydelse för genomförandet. Dessutom är böjradien viktig att ta hänsyn till. För bygg- och elentreprenörer är detta viktigt för att planera och dimensionera på bästa sätt. I detta fall råkade konferensrummet vara av perfekt storlek i förhållande till solljusarmaturer, d v s 10-15 m² med 3 st 60x60-solljusarmaturer, men det fanns ej några riktlinjer kring

storleken inom Vinnovaprojektet. I ett större rum skulle solljusbelysningen kunnat uppfattas som för liten och därmed påverkat upplevelsen av ljuset.

En annan slutsats som har betydelse för demonstrationens funktion och användarvänlighet, är vikten av att kombinera solljus med elbelysning utifrån vädrets förutsättningar. En dimmer på elbelysningen skulle förmodligen ge en annan helhetsupplevelse och möjlighet att variera belysningen utifrån mötesbehov.

Upplevelsen av ljuskvaliteten och känslan av naturligt ljus från intervjuerna var generellt sett positiv, men resultatet från de uppföljande intervjuerna är dock osäkert på grund av kort användningstid. Från loggboken har upplevelsen betygsatts som bra eller utmärkt när det varit sol eller strålande sol.

Att solljusbelysningen har kunnat användas utan komplettering av elbelysning under hälften av alla loggade tillfällena visar på energibesparingspotential. Att användningen inte skiftat över tid under mars till juli visar dessutom på en större användning över året än vad som kan förväntas i jämförelse med Karlstads solskenstimmar. Visserligen blir användningen av solljusfiber något begränsad under den mörkaste delen av året, men då är det desto viktigare för människor att exponeras för naturligt dagsljus.

6. Förslag på fortsatt arbete

Det skulle vara intressant att mäta solljusbelysnings färgspektrum före och efter installation av brottfri glasfiberkabel av varierande längd, för att undersöka hur installationen påverkar ljuskvaliteten och intensiteten i de olika våglängdsområdena. Den mätningen skulle även gå att analysera i kombination med brukarnas upplevelse av färgtemperaturen, som har en stark koppling till välbefinnande. Det finns förhoppningar om att glasfibern kan återspegla det naturliga dagsljuset ännu mer än plastfibern, vilket behöver studeras i framtiden.

Upplevelsen av ljuset kan bero på teknikens och styrnings anpassning till väder och brukarbehov. En automatisk styrning av solljus- och elbelysning för en inställd ljuskvalitet och ljusstyrka skulle kunna påverka den totala upplevelsen av belysningen, vilket vore intressant att undersöka i kommande projekt.

Solljusbelysningsprojektet har även en stor marknadspotential ifall tekniken erkänns för användning i miljöcertifierade projekt där dagsljus premieras, t.ex. i Miljöbyggnad och LEED. Framförallt gäller det i ombyggnadsprojekt där mörka rum kan vara oundvikligt. I Miljöbyggnad är dagsljus ofta en avgörande faktor för hela certifieringen och därmed en allt viktigare fråga. Premiering av solljusbelysning som en form av dagsljusinsläpp är en fråga som bör vidareutvecklas i samråd med Sweden Green Building Council.

7. Referenser

A2PBEER (2013), *Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting*, http://cordis.europa.eu/projects/rcn/108894_en.html (hämtad 2015-11-10)

Boubekri, Mohamed (2012), *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*. <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780750667241>

Jonsson, Stina & Söderström, Cecilia (2014), Jönköpings Tekniska Högskola, *Solljus på kabel*

Lingfors, David H. S & Volotinen, Tarja T (2013), Benefits of glass fibers in solar fiber optic lighting systems, *Applied Optics*, Vol. 52, Issue 27, pp. 6685-6695

Nilsson, Karl-Richard, Utvecklingsledare, Parans Solar Lighting AB (2014-2015). E-mail och telefonsamtal vid flertal tillfällen.

SMHI, *solstrålning i Sverige*, <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/solstralning-i-sverige-1.89984> (hämtad 2015-12-17)

Stålhandske, Christina & Norin, Lars (2014), Glafo & Acreo, *Utveckling av kostnadseffektiv optisk fiber för solljusbelysning*. <http://www.vinnova.se/sv/Resultat/Projekt/Effekta/Utveckling-av-kostnadseffektiv-optisk-fiber-for-solljusbelysning/>

Arbetsgrupp:

Lisa Falkenström, grön affärsutvecklare, Skanska

Bo Andersson, produktionschef, Skanska

Sven Olsson, byggherrerepresentant, Landstingsfastigheter i Värmland

Leif Fransson, projektombud UE EI, Midroc Electro

Karl Rickard Nilsson, utvecklingsledare, Parans Solar Lighting AB

Cecilia Söderström, Jönköpings Tekniska Högskola

Stina Jonsson, Jönköpings Tekniska Högskola

Referensgrupp:

Karl-Arne Lersten, projektchef, Skanska

Åse Togerö, grön utvecklingschef, Skanska

Christina Stålhandske, seniorforskare, Glafo

Lars Norin, seniorforskare, Acreo

Anders Melin, arkitekt, Sweco Architects AB

Eibert Olsson, arbetschef, Peab AB