

## Ur vårt Digitala Arkiv

# Fiberoptiken- nya ljuspunkter i tillvaron!

Utdrag ur TIFF nr 2 1980

Denna digitala version omfattar enbart sidorna 7 - 11

Tidningen i sin helhet finns på

<http://www.aef.se/TIFF/TIFF%201980-2.pdf>

□ Sedan lasern uppfanns fick man tillgång till starka koncentrerade ljuskällor och ökade utvecklingen av ljusvägledare. År 1970 fick man fram de första mer påtagliga bevisen på praktiskt användbara vägledare av kvartsglas. Hemligheten låg i att framställa extra rent glas utan nämnvärda atomdefekter.

I dag kan vi skicka ljus genom en 10 km lång glasfiber tunn som ett hårstrå utan att mer än en bråkdel av ljuset går förlorat. Om vatten vore lika ljusgenomsläppligt skulle vi kunna se botten på världshavens största djup.

### Princip och utvecklingshinder

En ljuskälla (laser – eller lysdiod) skickar in ljussignaler i fibern. Ljuset vandrar genom fibern och tas i andra ändan emot

Fiberoptisk kabel (1) med en överföringskapacitet som väl svarar mot mångledarkabeln (2) eller koaxkabeln (3).  
Foto ITT Komponent Solna.

Manuel Wik  
F:LT2



# Fiberoptiken – nya ljuspunkter i tillvaron!

av en ljuskänslig detektor (fig 1). Ljuskällan moduleras och detektorn demoduleras med hjälp av elektriska kretsar, som har gängse elektriska gränssnitt mot övrig teleteknisk utrustning. Tillsammans utgör ljussändare, fiber och ljusmottagare ett fiberoptiskt system för informationsöverföring.

Även om principen är enkel finns det åtskilliga praktiska problem vid introduktion av ny teknik – bl a begynnelsekostnad, bristande standardisering, tillförlitlighet och livslängd hos sändare och mottagare, miljökänslighet för fibrer och brister i erfarenhet av miljötålighet, skarvning, kontaktton, mätinstrument, reparation och underhåll. Utvecklingen går snabbt och många av de ursprungliga problemen är lösta och flera av de återstående på väg att klaras ut. Kraven och specifikationerna världen över måste dock uppfyllas beträffande tillförlitlighet, livslängd och kostnader innan glasfibersystem slår igenom på allvar.

### Fördelar med fiberoptiska kablar

I våglängdsspektrum återfinns de fiberoptiska användningarna omkring 1 μm (mikrometer), motsvarande en frekvens över 10<sup>14</sup> Hz (Se fig. 2). Det är ca 10000 gånger högre frekvens än för vissa radiolänktill-

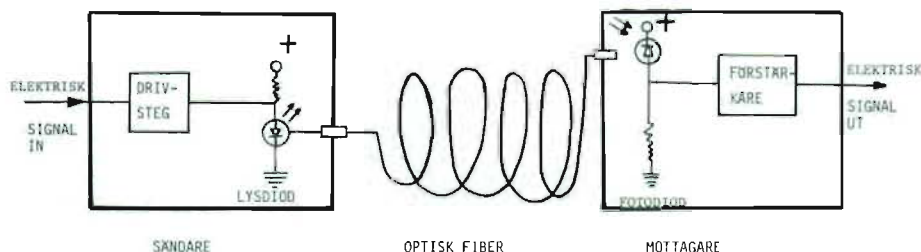
**Den fiberoptiska tekniken håller på att revolutionera informationsöverföringen. Konsten att meddela sig med varandra med hjälp av ljus är avsevärt äldre än att skicka information med hjälp av elektromagnetiska strömmar och fält. Det nya ligger i att kunna skicka ljus långa sträckor utan att det försvagas även om vägen är krokig.**

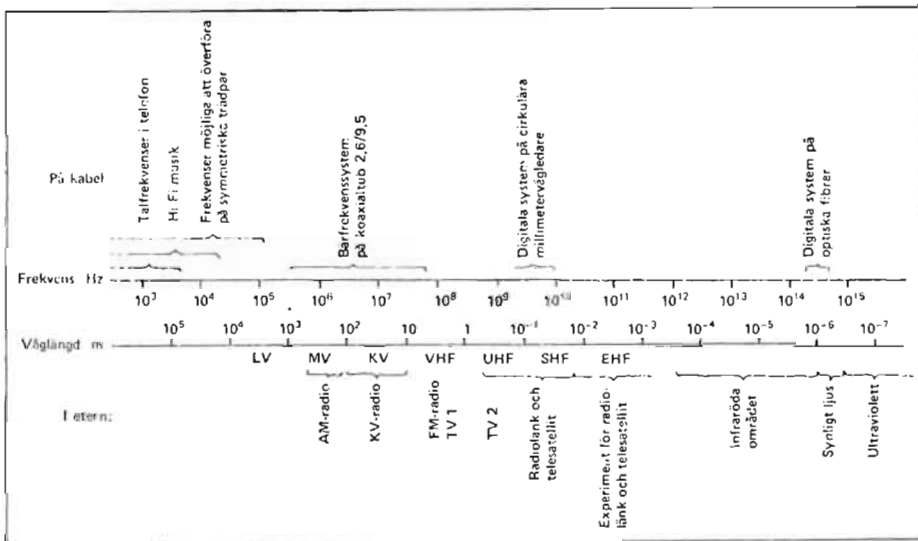
ämpningar. Vid så höga frekvenser är det ingen större konst att överföra stora informationsmängder.

En enda fiber kan samtidigt överföra tiotusentals telefonkanaler, ett antal video-

program eller stora dataflöden på hundratal Mbit/s. Inom överföringsbandet är fiberns dämpning nära frekvensoberoende. Fiberkabeln erbjuder användaren möjlighet att vid behov utöka kapaciteten eller byta

Figur 1. Schematisk bild av fiberoptisk länk





Figur 2. Transmissionssystemens frekvenslägen.

mellan tal, data och video genom byte av terminalutrustning. De fiberoptiska systemen är väl lämpade för digital överföring och introduceras vid en tidpunkt då man världen över byter från analogt till digitalt telesamband.

Eftersom glasfibern är en god isolator kan den användas i närheten av höga spänningar eller vid kraftiga elektromagnetiska störningar utan att signalen påverkas. Den galvaniska isoleringen och störokänsligheten möjliggjorde tidigt användningen inom högspänningstekniken vid tillverkning av thyristorstyrda aggregat för högspänd likströmsöverföring. Fibertekniken har även haft framgångar på andra håll inom kraft-, mät-, åsk- och NEMP-skyddstekniken (NEMP = nukulär elektromagnetisk puls från kärnladdningsexplosion). Fibern kan till skillnad från kopparråd inte förorsaka gnistbildning vilket gör fibern användbar vid installationer i explosiv miljö.

Fiberkabeln har liten diameter, låg vikt och stor böjlighet vilket gör den mycket lätthanterlig. Sändare och mottagare är också små, har låg vikt och litet effektbehov. Förmågan att överföra stora informationsmängder utan störningar och utan överhörning mellan skilda fibrer gör att fiberoptiken lämpar sig utmärkt i flygplan. Kablarna är smidiga och behöver inte ha vattentäta skarvdon och genomföringar kan vara små och enkla, vilket har särskilt intresse för undervattensplattformar, ubåtar och andra submarina tillämpningar. Inom försvaret kan fiberkablar ersätta stora tunga kopparkablar i rörliga sambandssystem och användas för trådstyrning av robotar och torpeder eller för bildöverföring från spaningsutrustning.

De optiska signalerna är mycket svårare för obehöriga att utan upptäckt komma åt än signaler från elektriska ledare. Fiberoptiksystem är därför lämpade för sekretessbelagd överföring och för säkerhets- och larmsystem.

Fördelar med fiberoptiska kablar sammanfattas nedan.

### 1. Påverkansfaktorer:

Okänslig för påverkan av elektriska och magnetiska störningar som medför utmärkt transmissionskvalitet utan några skärmnings- och avstörningsbehov och möjliggör enkel förläggning. Vissa fibertyper uppvisar relativt god resistens mot joniserande strålning. Kabel kan tillverkas fri från metall vilket förhindrar upptäckt med metalldetektor.

Fibern är elektriskt isolerande som medför att gnistbildning inte kan inträffa och att kabel kan förläggas i explosiv eller brandfarlig miljö. Stora potentialskillnader kan överbyggas. Jordnings- och kortslutningsproblem kan inte uppstå.

Kablarna har ingen elektrisk utstrålning, inget detekterbart signalläckage, ingen överhörning och är mycket svåra att tappa på information som medför stor avlyssnings säkerhet.

### 2. Transmissionsegenskaper:

Mycket stor bandbredd, som medför stor informationskapacitet. Frekvensoberoende och låg dämpning. Endast terminalutrustning behöver ändras när nya informations-

behov uppstår. Särskilt lämpad för digital överföring. Optisk multiplex möjlig (tex dubbelriktad överföring av flera våglängder på samma fiber). Mycket lågt effektbehov. Låg kostnad med hänsyn till fördelaktiga egenskaper, särskilt potentiell kapacitet. Inga induktanser i kabelrullar.

### 3. Handhavande:

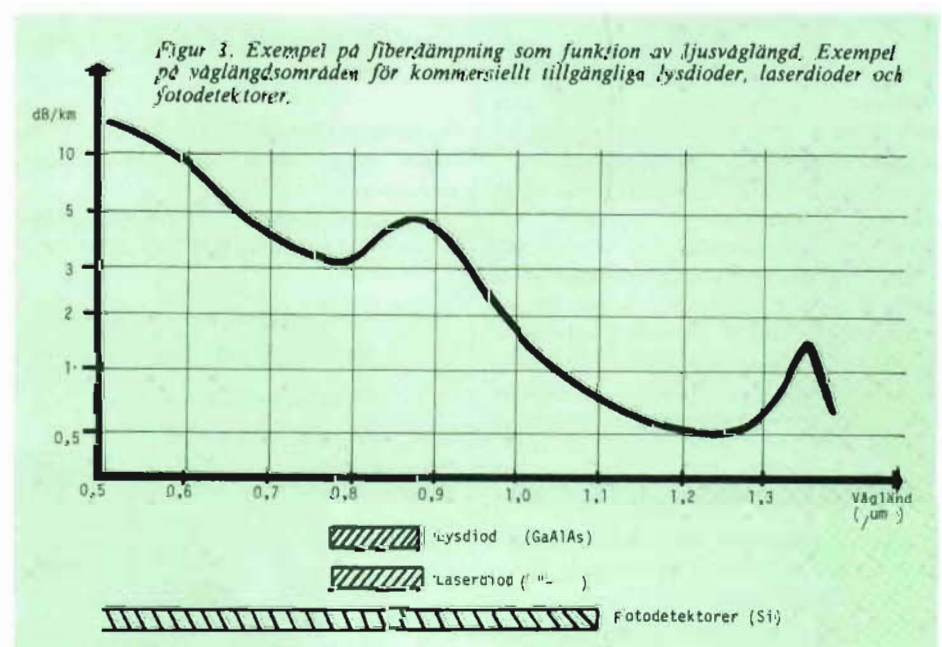
Liten diameter, låg vikt, hög draghållfasthet, stor böjlighet, få skarvar jämfört med konventionell kabel. Lätthanterlig vid installation, mindre utrymmebehov och lagerkrav. Låg fukt- och temperaturkänslighet. Tål höga temperaturer. Små enkla genomföringar. Skarvdon behöver inte vara vattentäta. Fiber kan placeras i vatten.

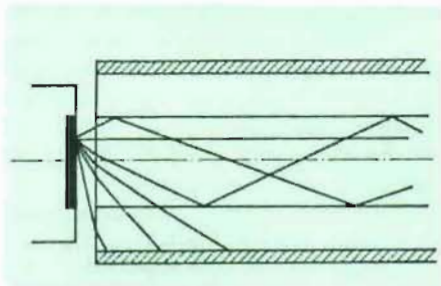
## Fibrer

En optisk glasfiber utformas så att inträngande ljus längs fibern totalreflekteras mot höljet och därför inte läcker ut och försvagas. Totalreflexion inträffar om glas materialet närmast höljet har något lägre brytningsindex än kärnmaterialet. I marknaden förekommer olika kombinationer av kvarts, glas och plast i kärn- och mantelmateriell. Plastmaterialen har högsta dämpningen och används mest inom industrin medan kvartsfibern har låg dämpning och används för bl a telekommunikation.

En typisk glasfiber kan bestå av en glaskärna med 50  $\mu\text{m}$  diameter, omgiven av ett hölje med något lägre brytningsindex. I samband med tillverkningen beläggs fibern med ett tunt plastskikt utgörande ett primärskydd mot bildning av mikroskopiska sprickor och defekter som uppstår vid kontakt med atmosfären. Senare beläggs fibern även med ett sekundärt skal av något plastmaterial med en tjocklek av ca 1 mm och som ger skydd mot yttre kemisk och mekanisk påverkan. Hela tillverkningsprocessen måste styras noggrant för att få en god optisk kvalitet.

Fiberns optiska egenskaper beror främst av dämpning, acceptans och dispersion.





Figur 4. Fibrens acceptans. Endast strålar inom fibrens acceptansvinkel kan ledas vidare.

Ljusdämpningen varierar med ljusets våglängd (se fig 3). Förlusterna beror på absorption respektive ljusspridning. De vanligaste fiberoptiska ljuskällorna i dag arbetar mellan ca 0,8 och 0,9  $\mu\text{m}$  våglängd där fiberdämpningen som lägst är ca 2 dB/km. I området omkring 1,3  $\mu\text{m}$  är dämpningen som lägst av 0,5 dB/km. Sådana provsystem är idag i drift. Om man kan utveckla användbara ljuskällor och detektorer omkring 1,6  $\mu\text{m}$  kan samma fiber användas vid så låga dämpningsvärden som ca 0,2 dB/km. Utveckling pågår.

Acceptansen talar om hur stor del av ljuset från en ljuskälla som kan kopplas in i fibern (se fig 4). Acceptansen beror av kärnans yta och kvadraten på fiberns numeriska apertur. (Den numeriska aperturen är sinusvärdet för den maximala vinkelavvikelsen från fiberaxeln som en ljusstråle kan ha men ändå tas emot och transmitteras av fibern.)

Dispersionen ger ett mått på hur ljuspulser breddas i fibern och därmed ett mått på fiberns bandbredd.

Det finns i dag tre vanliga typer av fibrer, nämligen multimod stegfiber, monomod stegfiber och multimod gradientfiber (fig 5). Stegfibern har ett brytningsindex i kärnan och ett något lägre i höljet. Om acceptansen är stor blandas ljus med olika infallsriktningar i fibern. Man talar om modblandning och multimodfiber. Ljusstrålar som reflekteras ofta kommer fram senare än de som reflekteras sällan. Detta resulterar i en pulsbreddning av utsänd ljuspuls. Är fibern kort betyder inte denna dispersion så mycket.

Vid industriell tillämpning är det behandligt att arbeta med fiber med stor acceptans och där överföringsavstånden är korta kan multimod stegfiber lämpa sig. För långdistant överföring av stora informationsmängder måste stegfibers kärndia-

Tabell 1. Några fiberdata

Fibertyp	Gradient-fiber	Monomod-fiber
Våglängd ( $\mu\text{m}$ )	0,84 1,3	1,3
Dämpning (dB/km)	4 0,5	0,5
Överföringsavstånd för 34 Mbit/s utan mellanförstärkare (km)	10 30	80
Informationsbandbredd (GHz/km)	0,6 0,6	50

meter vara så liten att allt ljus i princip utbreder sig i en och samma riktning — man talar då om en monomodfiber. Den har mycket liten dispersion men är å andra sidan mer svårhanterlig på grund av den lilla kärndiametern (endast några  $\mu\text{m}$  för 0,8  $\mu\text{m}$  våglängd).

I gradientfibern minskar brytningsindex kontinuerligt med avståndet från centrumlinjen ut mot höljet. Ljusstrålar nära axeln går visserligen kortare väg men har samtidigt lägre hastighet än strålar nära höljet. Ljuset kommer fram väl samlat och pulsbreddningen blir liten trots att fibern accepterar ett brett ljusknippe med många ljusmoder. Gradientfibern kombinerar de goda egenskaperna stor acceptans dvs stor lätthet att skicka in ljus i fibern med låg dispersion dvs stor informationsbandbredd. Gradientfibern har funnit användning som en god allround fiber för telekommunikation och i olika militära applikationer, där lätthanterlighet är mer betydelsefull än överföring av extremt stora informationsmängder långa sträckor. Några data för fibrer för telekommunikationsändamål framgår av tabell 1.

## Kablar

Fiberoptiska kablar består av en eller flera fibrer belagda med sekundära skyddshöljen och mantlade på olika sätt beroende på kablarnas användningsområden. Vid permanent förläggning i mark anses polymerhöljen inte ge fullgott fuktskydd. En fuktspärr i form av en metallmantel måste till för att garantera lång livslängd. Kabelkonstruktionen måste vidare vara sådan att inte temperaturförändringar, tryck-, dragpåkänningar och böjningar försämrar den optiska transmissionsförmågan för mycket. Problemen är störst vid låga temperaturer (lägre än  $-30^\circ\text{C}$ ) och beträffande undervattenskablar för de tryck som råder på stora djup. Hittillsvarande erfarenheter av fiberoptiska kablar är mycket positiva. Liten diameter, låg vikt, god böjlighet gör utläggningen enkel. Konventionell installationsteknik är användbar. I kanaliseringar (tex röripipor i gator) kan kablarna ofta dras igenom lätt i hela produktionslängder på 1 km vilket kan jämföras med 0,2–0,3 km maxlängder och 50–100 m dragavstånd för konventionella telekablar. Även vid stolpmontage kan enhetslängder om ca 1 km installeras på en fiberkabelns låga vikt och tålighet mot dragpåkänningar. Vid markförläggning kan kablarna med lätthet läggas i kabeldiken eller plöjas ner. Plöjningsmetoden är snabbast och billigast men ställer större krav på kabelns mekaniska hållfasthet.

Permanentskarvning av fiberkablar har med framgång utförts i fält. Den mest tillförlitliga metoden synes vara hopsvetsning av fiber i en särskild skarvningsapparat där fiberändarnas exakta lägen i förhållande till varandra kan kontrolleras före hopsmältningen.

Skarvarna förses med dragavlastning i fuktskyddande höljen. Tidsåtgången för

skarvning av fiberkablar är mindre än för konventionella par- eller koaxialkablar.

Efter installation utförs inmätningssprov för att utröna kabelns optiska egenskaper. Förutom enkla dämpningsmätningar kan man använda tidsdomänreflektometri varvid man skickar in en stark puls i fibern och studerar den del av ljuset, som reflekteras tillbaka. Känsligheten kan göras tillräckligt hög för att detektera enskilda variationer i dämpningen på olika längdavschnitt, felaktigheter, skarvar, krökningar och rena avbrott.

För demonterbar sammankoppling av enstaka fibrer och fiberkabel samt för avgreningar av olika slag har ett antal metoder och anordningar hittills utvecklats. Huvudproblemet är att undvika optiska förluster i skarvarna och ändå möjliggöra enkelt handhavande i olika miljöer. Fibrerna måste centreras noggrant så att de små fiberkärnornas ändtytor möter varandra korrekt både axiellt, radiellt och utan vinkelfel. Riktigt bra och billiga demonterbara fiberkontakter med dämpningar på max 0,5–1 dB låter nog vänta på sig tills standardiserings- och toleransproblemet lösts.

Avgreningar i form av T-kopplare och stjärnkopplare möjliggör större flexibilitet i fiberoptiska systemtillämpningar. En stjärnkopplare kan sprida ett informationsflöde från en stjärnstråle till de övriga eller arbeta som en nod som förbinder samtliga strålar med varandra. T-kopplaren möjliggör avtappnings- och tillkopplingsmöjligheter längs en transmissionsväg. Kopplingsförlusten på ner till 0,5 dB har åstadkommit.

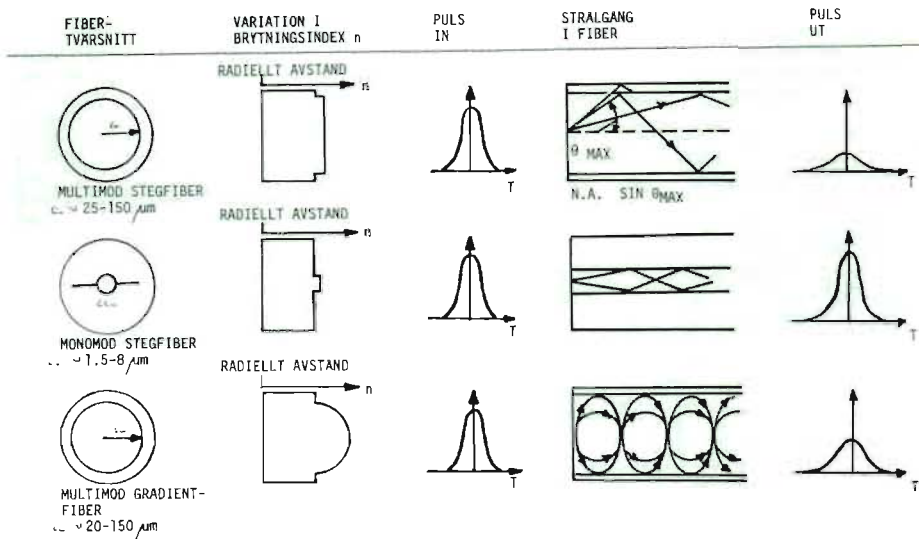
## Ljuskällor

De mest använda ljuskällorna inom fiberoptiken är laser- och lysdioder som genom sina små dimensioner är väl lämpade att integreras med fibrer. Typiska prestanda framgår av tabell 2.

Till de viktiga egenskaperna hör ljuskällornas verkningsgrad, snabbhet och förmåga att moduleras. Lysdioderna är de enklaste, billigaste och mest tåliga ljuskäl-

Tabell 2. Exempel på data för fiberoptiska ljuskällor.

Ljuskälla	Lysdiod (LED)	Laserdiod	
		Ga Al As	In Ga AsP
Våglängd ( $\mu\text{m}$ )	0,8–0,9	0,8–0,9	1,0–1,6
Spektralbredd (nm)	30–40	1–2	
Uteffekt i fiber (mW)	0,04	2	
Modulationsfrekvens (GHz)	0,1	1	
Livslängd (h)	$10^6$	$>2 \cdot 10^4$	Bättre än för Ga Al As
Överföringsavstånd (km) utan mellanförstärkare	1–2	10	100
Typisk överföringskapacitet (Mbit/s)	1–10	10–1000	10–1000
Pris	låg	rel högt	i högt



Figur 5. Olika typer av fibrer. Schematisk bild av fibertvårsnitt, variation i brytningsindex, pulsreddning och strålgång i fiber.

lorna. De är användbara för måttliga krav på överföringsavstånd och kapacitet.

Utvecklingen går mot bättre och billigare laserdioder särskilt om de finner tillämpning för massproduktion t ex för videokivmarknaden. För långa överföringsavstånd utan mellanförstärkare måste glasfiberns lägre dämpning vid högre våglängd utnyttjas.

## Ljusbrytare

Mycket känsliga och snabba halvledarfotodioder krävs för att detektera låga ljusnivåer och höga modulationsfrekvenser. I PIN-fotodioder alstras elektroner och hål av infallande ljuskvantar och laddningarna transporteras med hjälp av ett starkt elektriskt fält. Fotoströmmen uppmäts och är proportionell mot strålningen. I lavindioder (APD = Avalanche Photo Diode) förstärks fotoströmmen genom en lavineffekt i halvledaren. APD är ca 10–15 dB känsligare än PIN-dioder och används vid längre överföringsavstånd. APD är dock dyrare än PIN-dioder och kräver högre matningsspänning. PIN- och APD av Si arbetar vid ca 0,8–1 μm våglängd. Åtskilligt arbete återstår innan bra detektorer inom området 1–1,6 μm tagits fram.

## System

En enkelriktad fiberoptisk länk består av

en sändare med elektrisk/optisk omvandlare, en fiberkabel för optisk transmission och en mottagare med optisk/elektrisk omvandlare (fig 6). I sändaren omvandlas signalerna till en form eller kod som passar ljuskällan och i mottagaren rekonstrueras den elektriska signalen. Kommerciellt erbjuds fiberoptiska telefon-, data- och videosystem med terminaler för de internationellt standardiserade gränssnitten. Sådana finns det i handeln ett flertal system för 34, 8 resp 2 Mbit/s telefonöverföring och med olika maximala överföringsavstånd (fn ca 8–10 km) utan mellanförstärkare (optisk repeterare). Mellanförstärkare kräver antingen strömförsörjning via metalledare i kabeln eller från separata kraftkällor och undviks därför om möjligt. Laserdiod – APD – länkar klarar större överföringsavstånd än LED – PIN – diodlänkar, som dock är billigare och enklare.

De fiberoptiska länkarna måste dimensioneras med dämpningsmarginal med hänsyn till åldringseffekter i terminaler och kabel, ev avgreningar, demonterbara och fasta skarvställen. Under kabelns livslängd kan ett antal kabelbrott inträffa och vid reparation ökar dämpningen något.

Visserligen lämpar sig fiberoptisk transmission bäst för digitalöverföring medelst pulskodmodulering (PCM), men analog överföring är även möjlig. Enklast är därvid intensitetsmodulering (IM), som dock krä-

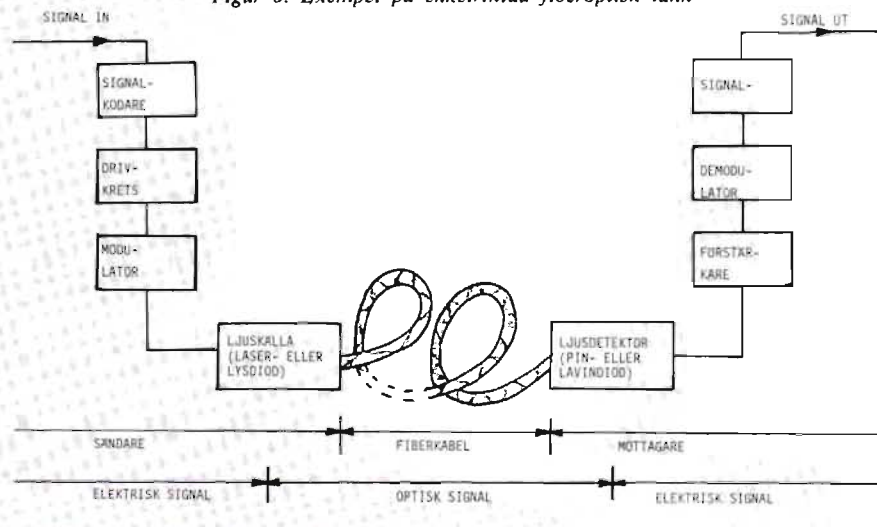
ver stort signalbrusförhållande och främst lämpar sig för överföring av mätdata och video korta sträckor. Pulspositionsmodulering (PPM) förbättrar signalbrusförhållandet och används hellre i vissa fall. Frekvensmodulering (FM) är lämplig för videoöverföring på större avstånd.

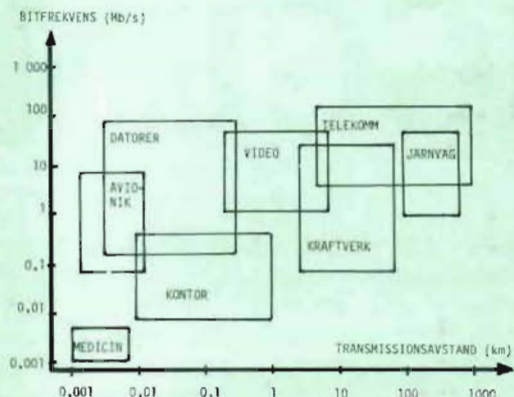
Samtidig överföring av olika information på en enda fiber är möjlig genom såväl elektronisk som optisk multiplex. Vid elektronisk multiplex (frekvens eller tid) krävs elektroniska kretsar och signaler från olika informationskanaler sammansätts till en bredbandig signal. Vid optisk multiplex används optiska komponenter och signaler från olika informationskällor kan sändas på en enda fiber och vid mottagande terminal skiljas åt till amplitud, våglängd (färg), fas eller polarisation. Exempelvis kan ett flertal dubbelriktade (duplex) videosignaler sändas på en enda fiber. Man kan också blanda digitala data och analog video i båda riktningarna på samma fiber. Komponenter för optisk signalbehandling befinner sig i ett starkt utvecklingskede. God optisk kanalseparation har uppnåtts.

## Tillämpningsområden

Fig 7 visar exempel på fiberoptiska tillämpningar inom ett antal områden med varierande krav på dataöverföringshastighet och transmissionsavstånd. Viktiga civila applikationer är lokala telekommunikationsnät, trunkkablarna, medeldistanta undervattens telefonkablarna och TV-nät. De fiberoptiska systemens fördelar har snabbt gjort dem lämpliga även för olika militära tillämpningar. Enligt vissa marknadsundersökningar kommer den militära användningen att uppta mer än halva marknadsandelen av fiberoptiska produkter. Fiberoptiska länkar har ersatt stora och tunga konventionella kabelsystem i militära sambandscentraler och lokalnät och har ersatt tunga fältkablarna mellan stabspplatser med krav på stor rörlighet och snabb omgruppering. Man utvecklar fiberoptiska länkar som skall läggas ut med flygplan eller helikopter och länkar för trådstyrning av torpeder och robotar. Exempelvis har en robotlänk testats vid utmatningshastigheten 200 m/s. Videosignaler skickas från roboten till markstationen samtidigt som denna på en annan våglängd sänder styrsignaler till roboten genom samma fiber (FIPOS = Fiber Optic Payout System). Fiberoptiska länkar har testats för dataöverföring i ett antal flygplan och goda resultat har rapporterats från USA och Frankrike. Hittillsvarande erfarenheter pekar bl a mot utmärkt skydd mot störningar, möjlighet till ledningsdragning i explosiv atmosfär, mindre vikt och volym än tidigare, förbättrad livslängd och tillförlitlighet, ökad överföringskapacitet och förenklat underhåll. På fartyg där utrymmesbrist, störningar, variabel jordpotential m m orsakar svårigheter för konventionella elektriska system väntas fiberoptiska system få stor betydelse.

Figur 6. Exempel på enkelriktad fiberoptisk länk





Figur 7. Exempel på fiberoptiska tillämpningar med hastighet (Mbit/s) och transmissionsavstånd.

För ubåtar och annan undervattensverksamhet uppvisar fiberoptiken stora fördelar. Undervattenskablar blir tunna och starka och medger stor överföringskapacitet. Skarvdon och genomföringar till undervattensinstallationer blir färre och behöver inte vara vattentäta. Optisk/akustiska omvandlare öppnar nya användningsområden. Miljötålighetskraven för militära system är oftast hårdare än för civila. De fiberoptiska systemen för militärt bruk ska ha stor drag- och slaghållfasthet, stort motstånd mot värme, köld, fukt, vätskor, lösningsmedel och joniserande strålning. Ännu återstår mycket arbete för att uppfylla alla krav. Brister finns bl a i fältmässighet beträffande skarvdon och reparationsutrustning.

## Applikationer i svenska försvaret

Inom svenska försvaret studeras fiberoptiska tillämpningar på ett flertal håll. Behovet har växt snabbare än tillgången på lämpliga system och komponenter. Inom FMV har en samarbetsgrupp bildats beträffande fiberoptiskt telesamband med representation från armé, marin och flyg. De specifika kunskaperna på ömse håll utnyttjas gemensamt och ger styrka åt strävandena mot enhetliga lösningar oberoende av försvarsgrenstillhörighet. För att undvika kostsam parallellverksamhet inom statsförvaltningen har ett samarbetsavtal träffats med Televerkets Centralförvaltning angående vissa praktiska studier av fiberoptiksystem. Detta möjliggör en snabbare utveckling och ett ömsesidigt erfarenhetsutbyte. Även i övrigt strävar gruppen efter att tillvarata inhemska resurser.

Ett viktigt mål är framtagning av ett fältmässigt transmissionssystem för överföringsavstånd från någon km och upp till ca 20 km utan repeterare. För de kortare avstånden finns behov av kapacitet upp till 34 Mbit/s PCM och i vissa tillämpningar överföring av analog radarvideo. Inom armén finns behov av fältkabelsystem för telesystem 8000 för överföring av delta-modulerad information mellan sambandsnoder. Marinen behöver bl a ett system för snabbutläggning av kabel och överföring av 2 Mbit/s PCM. För snabba omgrupperingar finns behov av engångskabel som kan

kvärlämnas efter utförd operation. Flyget behöver ersätta tunga konventionella kablar i vissa digitala sambandssystem för 34, 8 och 2 Mbit/s PCM. Telub AB är FMV-F:U huvudverkstad inom området. Intresset för överföring av radarvideo kommer att öka och även möjliggöra mindre konventionell utformning av anläggningar. Fiberoptiska installationer i befästningar har en rad fördelar, bl a EMP-skydd och mindre och färre borrhål och genomföringar. Vidare möjliggör fiberoptiken friare val av gruppering av olika delar i försvarssystem, vilket bl a kan påverka innehållet i och utformningen av befästningsanläggningar.

Intresset och behovet inom försvaret av fiberkabel för fast förläggning i mark ökar. Helst skulle man vilja ha helt ometallisk kabel utan behov av trycksättning. Krav på fuktskydd och lång livslängd motverkar dock önskemålen. Fiberkablen enorma transmissionskapacitet medger stor framtida flexibilitet avseende transmissionsbehov. Ändrustningar kan lätt bytas ut och kabelinstallationer i sig själv behöver i de flesta fall inte röras. En 2 km lång fast förbindelse provas f n och kommer att studeras avseende både tal, data och video. I sistnämnda fallet planeras även en videokonferensmöjlighet att provas som exempel på möjliga tjänster som resultat av fibertekniken. I anslutning till den fiberoptiska länken kan det även bli aktuellt att prova en optisk IR-länk för fri vågutbredning i rymden istället för transmission genom fibrer.

Tidpunkten för införandet av fiberoptiska system inom försvaret beror bl a av följande faktorer:

- Kabelpriser
- Internationell standardisering
- Fältmässiga kontakter
- Lämplig reparationsutrustning
- Erfarenheter från provverksamhet avseende drift och underhåll
- Tillförlitligare och driftsäkrare ljuskällor och detektorer

## Utvecklingstendenser

Fiberoptiken går en ljusnande framtid till mötes – även om ljuset inte blir synligt för ögat när högre våglängder kommer till användning. Antalet fiberoptiska projekt, tillämpningsområden och engagerade människor har ökat exponentiellt under de senaste åren.

Världsmarknaden motsvarade 1978 40 miljoner dollar och väntas enligt en prognos öka med 50 % årligen till 1985 och därefter med 20 % per år till 1990, vilket då motsvarar 1,7 miljarder dollar. En fiberkabel för markförläggning kostade 1978 ca 13 dollar/meter och en enkel fältkabel ca 8 dollar/meter. 1984 väntas priserna ha sjunkit till 4 respektive 2 dollar/meter och 1990 till ca 2 respektive 1 dollar/meter.

Den fiberoptiska kabeln är ur transmissionspunkt i dag överlägsen övriga typer av kablar. Detta får stora konsekvenser för kabelindustrins omställning. Utvecklingen går mot användning av längre våglängder varvid fiberdämpningen minskar och förstärkaravståndet ökar. Det är redan nu möjligt att planera för 50–100 km undervattenskablar utan mellanförstärkare. Problemet vid längre våglängder är ännu så länge ljuskällorna och detektorerna. Det var uppfinningen av lasern som satte igång fiberoptikutvecklingen. Idag är det glasfibern, som fordrar en nyutveckling av lasrar och fotodetektorer vid högre våglängder. Medan första generationen fiberoptiska system nu har etablerats på marknaden har arbetet på andra generationens system hunnit långt i laboratorier. I USA provas redan en telefonförbindelse för 1,3  $\mu$ m. Man studerar även möjligheterna att utnyttja ännu längre våglängder, men de systemen ligger längre fram i tiden.

Den fjärde generationens fiberoptik (jämför tabell 3) kan i framtiden komma att möjliggöra transoceaniska kabelförbindelser utan mellanförstärkare och öppnar även möjligheten för energioverföring på optiska våglängder. Inom parentes sagt finns det redan i dag telefoner som endast ansluts med fibrer och där den optiska energin omvandlas till ring- och ljudsignaler.

En övergång kommer med tiden att ske till integrerad optik. Den utvecklingen kan komma att få lika stor betydelse för optiken som LSI- (Large Scale Integration) tekniken för elektroniken.

Den integrerade optiken innebär optiska komponenter och kretsar tillverkade i tunnfilmsteknik. På en optisk tunnfilmkrets kan kopplingsdon, multiplexering, signalbehandling, förstärkning m m åstadkommas och man kan framställa sändare, mottagare och repeterare som är helt oberoende av elektroniska kretsar. Därvid försvinner den tidsbegränsning som utgör en svaghet hos elektroniken och nya vägar öppnas mot allt mer fantastiska tekniska hjälpmedel. ■

Tabell 3. Den fiberoptiska generationsutvecklingen

Generation	1	2	3	4
Våglängd ( $\mu$ m)	0.8	1.3	1.55	3–6
Fibertyp	Gradient-index	Gradientindex resp monomod	Monomod	Monomod
Dämpning (dB/km)	5	0.5	0.2	$10^{-3}$ – $10^{-6}$
Förstärkaravstånd (km)	5–10	50–100	100–250	250 000–?