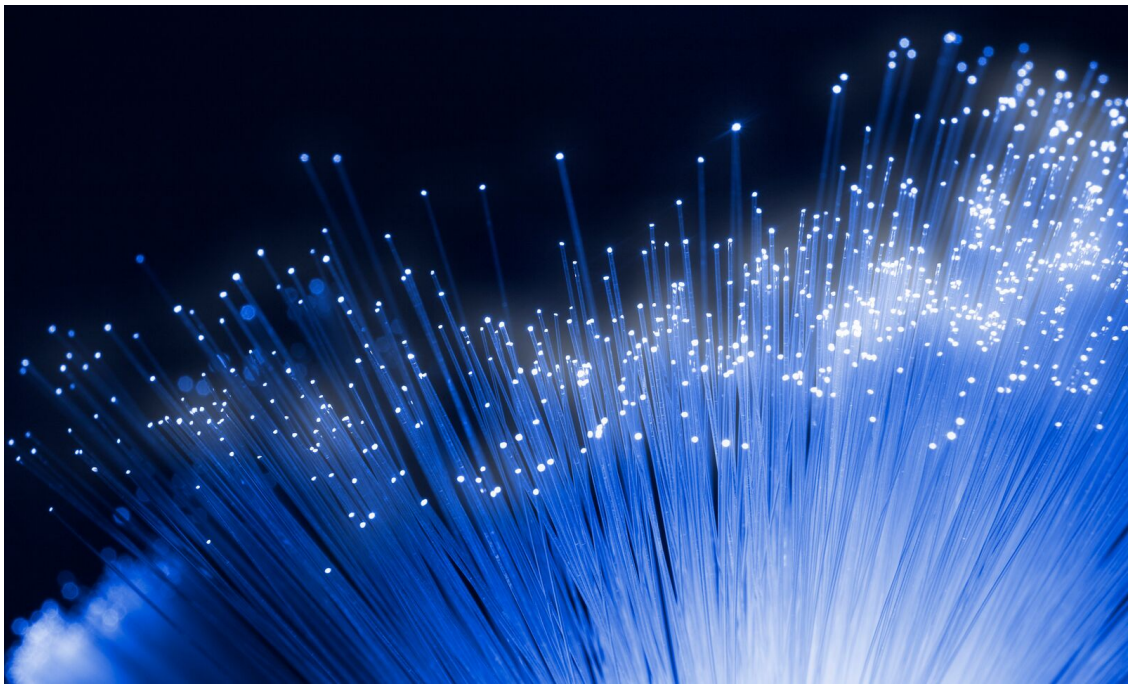
CHALMERS



Hinder och möjligheter för cirkulära flöden av fiberoptiska kablar i Sverige

En kartläggande studie av återbruk, återvinning och framtida materialflöden

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

WILLIAM LIFJORDEN
OLLE SJÖSTEN

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
Chalmers Tekniska Högskola
Göteborg 2026
www.chalmers.se

Examensarbete 2026

Hinder och möjligheter för cirkulära flöden av fiberoptiska kablar i Sverige

En kartläggande studie av återbruk, återvinning och framtida materialflöden

WILLIAM LIFJORDEN
OLLE SJÖSTEN



CHALMERS

Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
Göteborg 2026

Hinder och möjligheter för cirkulära flöden av fiberoptiska kablar i Sverige
En kartläggande studie av återbruk, återvinning och framtida materialflöden
WILLIAM LIFJORDEN
OLLE SJÖSTEN

© WILLIAM LIFJORDEN & OLLE SJÖSTEN, 2026.

Handledare: Gustav Nädele & Peter Elisson, Nexans Sweden AB
Handledare: Peter Hammersberg, Industri- och Materialvetenskap
Examinator: Peter Hammersberg, Industri- och Materialvetenskap

Examensarbete 2026
Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslagsbild: Optiska fibrer där ljus emitteras från fiberändarna. Bilden har valts för att illustrera fiberoptikens funktion samt skapa visuellt intresse.

Skriven i LaTeX
Göteborg 2026

Hinder och möjligheter för cirkulära flöden av fiberoptiska kablar i Sverige
En kartläggande studie av återbruk, återvinning och framtida materialflöden
WILLIAM LIFJORDEN
OLLE SJÖSTEN
Institutionen för Industri- och Materialvetenskap
Chalmers Tekniska Högskola

Sammanfattning

Den fiberoptiska infrastrukturen har utvecklats och byggts ut under flera decennier. I takt med att dessa nät ersätts, omstruktureras eller byggs om uppstår en ökande problematik kring hur uttjänta fiberoptiska kablar bör hanteras på ett hållbart sätt. I Sverige sker hanteringen idag främst genom energiåtervinning, vilket begränsar möjligheterna att återföra materialen till kretsloppet. End-of-life-hanteringen påverkas även av rådande avfallsförordningar, där kablar initialt klassas som farligt avfall till dess att motsatsen har fastställts. Samtidigt har övergången från en linjär till en cirkulär ekonomisk modell fått allt större uppmärksamhet. Den cirkulära ekonomin syftar till att förlänga produkters livslängd samt möjliggöra återbruk och materialåtervinning när produkterna nått slutet av sin användningsfas. Mot denna bakgrund blir hanteringen av fiberoptiska kablar en relevant fråga ur ett resurseffektivitetsperspektiv. Denna studie baseras på en litteraturstudie samt intervjuer med relevanta aktörer inom branschen. Syftet har varit att sammanställa och analysera befintlig kunskap samt att ge en nulägesbild av hur återbruk och återvinning av fiberoptiska kablar hanteras i Sverige idag, i relation till tekniska, miljömässiga och juridiska aspekter. Resultaten visar att det i dagsläget saknas en entydig lösning för cirkulär hantering av fiberoptiska kablar. I litteraturen identifieras flera potentiella metoder för återbruk och materialåtervinning, vilka teoretiskt sett kan bidra till ökad resurseffektivitet. Samtidigt framkommer det i intervjustudien att dessa metoder ofta är förknippade med betydande praktiska utmaningar, såsom teknisk komplexitet och ekonomiska begränsningar. Detta innebär att metoder som framstår som lovande i teorin inte nödvändigtvis är realistiska att implementera i större skala under nuvarande förutsättningar. Genom att belysa både möjligheter och begränsningar skapas en mer nyanserad bild av förutsättningarna för en cirkulär hantering av fiberoptiska kablar, där ett flertal potentiella vägar identifieras men där ingen enskild lösning framstår som tillräckligt mogen för bred industriell tillämpning.

Nyckelord: fiberoptiska kablar, återbruk, återvinning, materialåtervinning, cirkulär ekonomi, livscykelanalys, end-of-life, mekanisk återvinning, kemisk återvinning, energiåtervinning

Akronymer

Nedan följer en lista över förkortningar som används i rapporten listade i alfabetisk ordning:

DFOS	Distributed fiber optic sensing
DSP	Digital signal processor
FA	Farligt avfall
FRP	Fiber reinforced plastic
HDPE	Högdensitetspolyeten
HFFR	Halogen free flame retardant
LDSP	Learnable digital signal processing
PE	Polyeten
PEX	Tvärbunden polyeten
PVC	Polyvinylklorid
SM-fiber	Singelmodfiber

Innehåll

Akronymer **vii**

Figurer **xiii**

1 Inledning **1**
1.1 Bakgrund . . . 1
1.2 Problemformulering . . . 2
1.3 Syfte . . . 3
1.4 Mål . . . 3
1.5 Avgränsningar . . . 3
1.6 Forskningsfrågor . . . 4
1.7 Disposition . . . 4

2 Teoretisk referensram **5**
2.1 Fiberoptik . . . 5
2.2 GRHL och GRHQ - konstruktion . . . 5
2.2.1 Mantel . . . 7
2.2.2 Optisk fiber . . . 8
2.2.2.1 Germanium . . . 9
2.2.3 Central dragavlastare (FRP) . . . 9
2.3 Reglerverk i Sverige och EU . . . 10
2.3.1 Avfallsdirektiv . . . 10
2.3.2 Producentansvar . . . 11
2.3.3 Standarder för fiberoptiska kablar . . . 11
2.4 Återbruk . . . 12
2.4.1 Återtillverkning . . . 13
2.5 Återvinning . . . 13
2.5.1 Mekanisk återvinning/separation . . . 13
2.5.2 Mekanisk plaståtervinning . . . 14
2.5.3 Kemisk återvinning . . . 15
2.5.4 Energiåtervinning . . . 15

3 Metod **17**
3.1 Litteraturstudie . . . 17
3.2 Materialanalys . . . 18
3.3 Intervjustudie . . . 19
3.4 Analys . . . 20

4 Resultat från litteraturstudie **21**
4.1 Återbruk av fiberoptiska kablar . . . 21
4.1.1 Distributed fiber optic sensing . . . 21
4.1.2 Learnable digital signal processing . . . 22
4.2 Återvinning . . . 22
4.2.1 Mantel . . . 23
4.2.2 Central dragavlastare (FRP) . . . 24
4.2.3 Optisk fiber . . . 25
4.2.4 Återvinning i praktiken . . . 26

5 Resultat från intervjustudie **29**
5.1 Resultat från intervjustudie med återvinningsföretag . . . 29
5.1.1 Hantering . . . 30
5.1.1.1 Hanterar företaget fiberoptiska kablar? . . . 30
5.1.1.2 Hur separeras fiberoptiska kablar från övriga kablar? 30
5.1.1.3 Vilken avfallsklass tilldelas fiberoptiska kablar hos aktörerna? . . . 30
5.1.1.4 Hur separeras materialet i kablarna som aktörerna hanterar? . . . 30
5.1.1.5 Återvinns plasten från kablarna? . . . 31
5.1.2 Hinder . . . 31
5.1.2.1 Vad ser företagen som det största hindret för fiberoptiska kablar idag? . . . 31
5.1.2.2 Varför tror företagen att så lite fiberoptisk kabel återvinns idag? . . . 32
5.1.3 Framtid och möjligheter . . . 32
5.1.3.1 Har företagen någon forskning inom ämnet idag? . . . 32
5.1.3.2 Ser företagen en framtid inom återvinning av fiberoptiska kablar? . . . 32
5.1.3.3 Vad anser företagen krävs för att öka återvinningsgraden? . . . 33
5.1.3.4 Är det något mer ni vill tillägga om hantering av fiberoptisk kabel? . . . 33
5.1.4 Sammanfattning . . . 33
5.2 Resultat från intervju med telekomföretag . . . 34
5.2.1 Hanteras eller brukas äldre kablar? . . . 34
5.2.2 Återbruk av befintlig infrastruktur . . . 34
5.2.3 Ansvar och policy . . . 34
5.2.4 Cirkularitet och ekonomi . . . 35
5.2.5 Framtid . . . 35
5.2.6 Sammanfattning . . . 35

6 Analys **37**
6.1 Litteraturstudie . . . 37
6.1.1 Återbruk . . . 37
6.1.2 Återvinning . . . 38
6.1.3 Återvinning i praktiken . . . 41

6.2 Analys av intervjustudie 42
6.3 Sammanvävd analys 44
6.4 Potentiella återbruks- och återvinningsflöden 45
6.5 Validitet och reliabilitet 49

7 Slutsats **51**
7.1 Slutsatser 51
7.2 Fortsatt arbete 52

Bibliography **55**

A Appendix **I**
A.1 Fullständig sökstrategi II
A.2 Intervjumall för återvinningsföretag III
A.3 Intervjumall för telekomföretag VI

Figurer

2.1 Tvärsnitts bild av Nexans fiberoptiska kabel GRHL med innehållsbeskrivning. (Nexans Sweden AB, 2026-05-25). Omarbetad med tillstånd. 6
2.2 Tvärsnitts bild av Nexans fiberoptiska kabel GRHQ med innehållsbeskrivning. (Nexans Sweden AB, 2026-05-25). Omarbetad med tillstånd. 7

5.1 Upplägg av resultat från intervjustudien. (Författarnas egna bild). . . 29

6.1 Översikt av återbruksflöden för fiberoptiska kablar beroende på installationsmiljö. (Författarnas egna bilder). 46
6.2 Mekanisk och termisk återvinningsflöde för fiberoptiska kablar. (Författarnas egna bild). 47
6.3 Mekanisk återvinning till utfyllnadsmaterial. (Författarnas egna bild). 47
6.4 Kemiskt återvinningsflöde för fiberoptiska kablar. (Författarnas egna bild). 48
6.5 Energiåtervinningsflöde i förbränningsugn. (Författarnas egna bild). . 48
6.6 Energiåtervinningsflöde i cementugn. (Författarnas egna bild). 49

A.1 Intervjumall för återvinningsföretag (med fortsättning). III
A.2 Intervjumall för telekomföretag (med fortsättning). VI

1

Inledning

I detta kapitel nämns grundläggande kunskap och information kring ämnet. Menad att skapa en förståelse för vad arbetet skall nå för resultat och dess innehåll.

1.1 Bakgrund

Digitaliseringens snabba utveckling har under de senaste decennierna lett till en omfattande utbyggnad av den digitala infrastrukturen. En central del av denna utveckling är de fiberoptiska näten. Fiberkablarnas höga kapacitet och stabila dataöverföring har blivit en grundläggande förutsättning för såväl samhällsviktiga verksamheter som privat kommunikation. Sveriges Kommuner och Regioner (SKR, u. å) menar att en robust och kapacitetsstark digital infrastruktur är helt avgörande för att regioner och kommuner ska kunna bedriva verksamhet, möta invånarnas behov och upprätthålla samhällsservice i hela landet.

Digitala tjänster blir allt vanligare inom arbete, utbildning, vård och samhällsservice. Den ökande användningen av fiberoptisk teknik innebär samtidigt att stora mängder fiberoptiska kablar behöver installeras. Även om fiberoptiska kablar, som främst består av glas och plast, ofta klassas som energieffektiva under användningsfasen, uppstår det en betydande miljöpåverkan i andra delar av livscykeln, såsom vid tillverkning, installation och utrangering. Enligt en Product Environmental Profile (PEP) från Nexans (u. å-e), för kabeln GRHL med 96 fibrer, är skillnaden i total GWP (Global Warming Potential) mellan användningsfasen och installation lite drygt 1000 gånger så stor.

I takt med att fiberoptiska nät ersätts, omstruktureras eller byggs om uppstår frågan om hur uttjänta fiberoptiska kablar bör hanteras. I Sverige hanteras kabelavfall generellt genom materialåtervinning där metaller och plast separeras och återförs som sekundära råvaror (Återvinningsindustrierna, 2020). Materialåtervinning av fiberoptiska kablar är mer komplext, delvis på grund av dess materialkombination, då kablarna består till mesta dels av glas och plast (European Commission [EU], 2011) men även då de inte har samma ekonomiska värde som exempelvis koppar och aluminium i elkraftskablar.

Förutom materialåtervinning har begreppet återbruk fått ökad betydelse inom avfallsområdet. Avfallstrappan är ett EU-direktiv som hänvisar till hur vårt avfall ska hanteras. Återanvändning är placerad högre upp i avfallstrappan än återvinning, vilket innebär att material i första hand bör återanvändas innan det återvinns. Återbruk innebär att produkter eller material används på nytt i sin befintliga form, vilket både förlänger livslängd på produkten samt minskar behovet av nyproduktion (Naturskyddsföreningen, 2021a). För fiberoptiska kablar kan återbruk exempelvis handla om att uttjänta kablar återanvänds till nya installationer eller att befintlig infrastruktur används till alternativa ändamål, som exempelvis distributed fiber optic sensing (DFOS) (Ip m. fl., 2022).

Med samhällets ökade fokus på hållbar utveckling och resurseffektivisering har frågor om återbruk och återvinning blivit allt mer betydande. Dagens samhälle är uppbyggt på linjär ekonomi, vilket i stort sätt handlar om att utvinna naturresurser, producera, konsumera och sedan bli kvitt avfallet. Detta tänk har präglat samhället ända sedan industrialiseringen tog fart men på senare år har det fasats ut mot ett mer cirkulärt tänk. Den cirkulära ekonomin är baserad på att man ska utnyttja allt som man har producerat så länge som det går och när produkten sedan är förbrukad ska man materialåtervinna så mycket som möjligt av materialen (Naturskyddsföreningen, 2021b).

Under senare år har klassificering av kabelavfall uppmärksammats i Sverige. Naturvårdsverket har bedömt att kabelavfall som regel, om motsatsen inte kan bevisas, ska hanteras som farligt avfall (Naturvårdsverket, 2021). Stena Recycling (2025) uppger att det ställs högre krav på hantering och dokumentation av kablar vid återvinning. Detta kan i sin tur påverka förutsättningarna för både återvinning och återbruk inom branscher som hanterar stora mängder kabelavfall.

Sammantaget befinner sig hanteringen av fiberoptiska kablar i ett spänningsfält mellan teknisk utveckling, miljöambitioner och regelverk. Den ökande mängden installerad fiberinfrastruktur gör frågan om återbruk och återvinning av fiberoptiska kablar relevant ur både ett hållbarhets och resursperspektiv, särskilt i en svensk kontext där målet om en cirkulär ekonomi är tydligt uttalat.

1.2 Problemformulering

Trots att fiberoptiska kablar har installerats och brukats i flera decennier kvarstår betydande utmaningar kring återvinning och möjligheter till återbruk vid end-of-life-hantering. Utmaningarna beror bland annat på kablarnas tekniskt komplexa konstruktion, rådande tolkningar av svenska avfallsförordningar samt den begränsade ekonomiska lönsamhet som dagens återvinningsprocesser innebär. Det finns därför ett behov av att undersöka hur återbruk och återvinning av fiberoptiska kablar kan förbättras utifrån tekniska, ekonomiska och juridiska perspektiv. Hur kan branschen utvecklas för att skapa mer hållbara och cirkulära system kring fiberoptiska kablar?

1.3 Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka och kartlägga möjligheter för återbruk, återvinning och end-of-life-hantering av fiberoptiska kablar i en svensk kontext, med särskilt fokus på tekniska, miljömässiga och juridiska aspekter.

1.4 Mål

Målet med projektet är att:

- Sammanställa internationella erfarenheter.
- Identifiera och analysera hinder och möjligheter i Sverige för återbruk, återvinning och end-of-life-hantering av fiberoptiska kablar.
- Ge förslag på återbruk- och återvinningskedjor.
- Analysera och jämföra end-of-life-hanteringsmetoder med fokus på teknisk, miljömässig och ekonomisk genomförbarhet.
- Tydliggöra gapet mellan tillgänglig teknik och branschens nuvarande kunskap genom att beskriva skillnader, behov och möjliga åtgärder.
- Utforma rekommendationer för fortsatt arbete, möjliga metoder och policyutveckling.

1.5 Avgränsningar

Avgränsningarna i arbetet gjordes medvetet för att anpassa och definiera undersökningens omfattning till studiens syfte och praktiska förutsättningar. De tydliggör studiens fokus och anger gränserna för inom vilka resultaten kan tolkas och tillämpas, vilket skapar transparens för studiens giltighetsområde. Avgränsningarna bidrar även till att andra forskare kan bedöma studiens relevans, replikerbarhet och överförbarhet till andra sammanhang. Nedan listas avgränsningarna för arbetet.

- Studien avgränsas till att enbart omfatta två kabeltyper från Nexans produktkatalog: GRHL och GRHQ
- Studien fokuserar på slutfasen av livscykeln, det vill säga återvinning och återanvändning av fiberoptiska kablar.
- Studien genomförs ur ett internationellt perspektiv men analysen sätts i en svensk kontext med fokus på gällande lagkrav och regulatoriska ramar inom Sverige samt EU.
- Arbetet inkluderar ingen experimentell provning, detaljerad ekonomisk kalkyl, fullständig livscykelanalys eller djupgående juridisk analys.

1.6 Forskningsfrågor

De forskningsfrågor som studien syftar till att besvara är följande:

1. Vilka tekniska förutsättningar finns för återbruk av fiberoptiska kablar som varit i drift i Sverige?

2. Hur kan kvalitet, funktion och återstående livslängd hos använda fiberoptiska kablar bedömas i samband med återbruk?

3. Vilka metoder finns för materialåtervinning av fiberoptiska kablar, och vilka material kan återvinnas vid end-of-life?

4. Vilka miljömässiga för- och nackdelar finns med återbruk respektive materialåtervinning av fiberoptiska kablar?

5. Hur hanteras fiberoptiska kablar i Sverige i dag vid demontering och avfallshantering, enligt relevanta aktörer?

6. Hur påverkar befintliga regelverk och standarder möjligheterna till återbruk och återvinning av fiberoptiska kablar, och vilka förändringar kan främja en mer cirkulär hantering?

1.7 Disposition

Rapportens struktur är baserad på IMRaD modellen (Eriksson, 2025). De 6 ingående delarna är inledning, teoretisk referensram, metod, resultat, analys och slutsats.

Inledningen presenterar ämnet, forskningsproblemet, bakgrunden och syftet med studien. Här inkluderas även forskningsfrågor som skapar diskussion för analys.

Teoretisk referensram går grundligt igenom begrepp och definitioner som ökar läsarens förståelse för ämnet och minskar den andel som behövs förklaras i senare skede.

Metoden beskriver hur studien genomförts, inklusive struktur, datainsamling och analysmetoder. Metoden ger möjlighet till andra att replikera studien.

Resultatet presenterar de faktiska fynden från studien objektivt, där litteratur- och intervjustudiens resultat redovisas var för sig.

Analysen tolkar och förklarar, jämför tidigare forskning genom triangulering med ny insamlad data, diskuterar studiens begränsningar och validitet samt reliabilitet.

Slutsatsen sammanställer resultat i konkreta förslag och ger förslag på framtida forskning.

2

Teoretisk referensram

Kapitlet innefattar information och teori som krävs för att analysen skall blir förståelig. Centrala begrepp och definitioner förklaras i detalj. Tidigare forskning nämns och en sammanfattning kommer att beskriva de kriterier och teman som används i analysen.

2.1 Fiberoptik

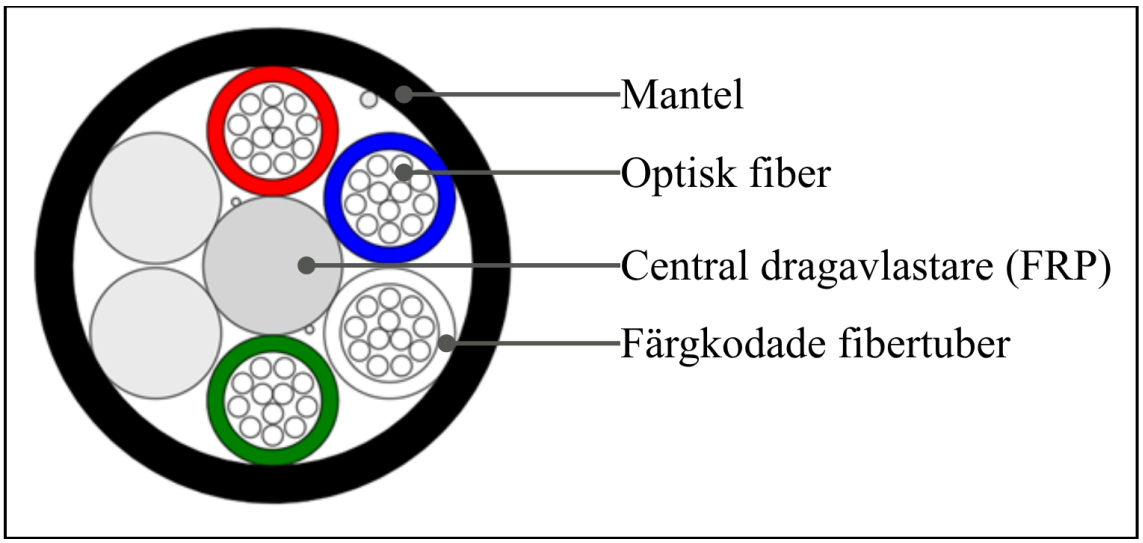
Fiberoptik är en teknologi för att skicka data, ljud och bilder snabbt och stabilt mellan olika enheter. Informationsöverföringen sker med hjälp av ljussignaler som leds genom mycket tunna trådar av glas eller plast, i storleksordningen ett hårstrå. Det är främst det yttre reflekterande lagret, så kallat cladding, som har denna tjocklek. Själva kärnan, där ljuset propagerar, är ännu tunnare och kan ha en diameter på så lite som cirka 10 μm i singelmode-fiber (SM-fiber). Ljuset reflekteras på fiberns väggar med total intern reflektion vilket gör att signalen kan skickas 100 km eller mer innan den behöver förstärkas med en relästation (Britannica Editors, 2026).

Fiber Broadband Association (2024) menar att fiberoptiska kablar som installeras idag kan användas i många årtionden framöver. De fiberkablar som har varit i bruk har gått från att stödja hastighetsökningar från Megabits till Gigabits och har potentialen att i framtiden även stödja Terrabits. Många moderna optiska fiber och fiberkablar har inget känt utgångsdatum.

2.2 GRHL och GRHQ - konstruktion

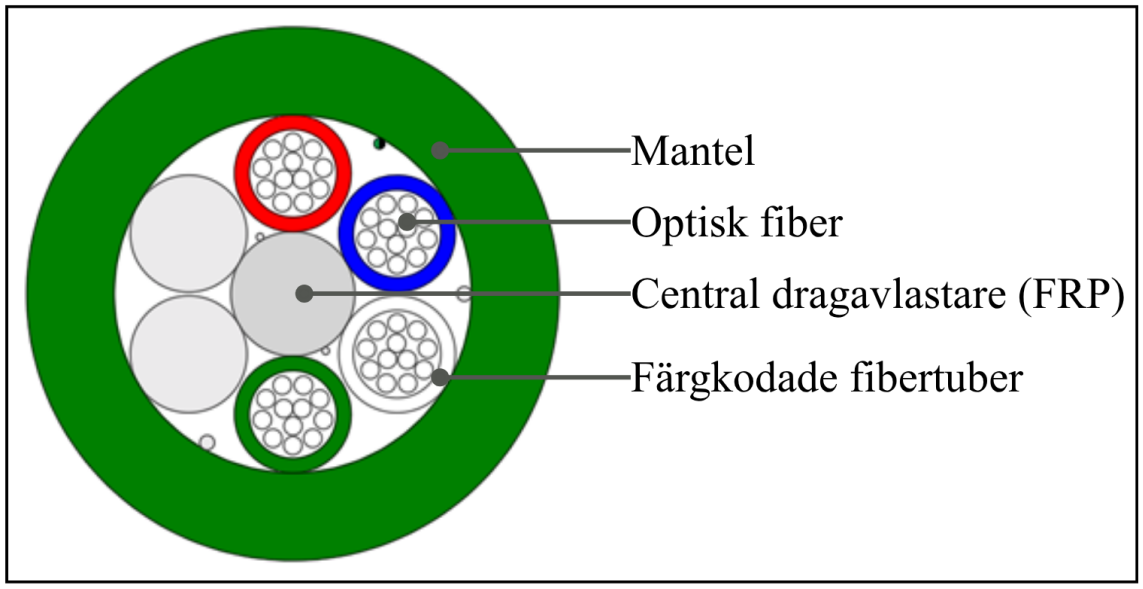
Nexans fiberoptiska kabel, betecknad GRHL-U-CDGNRV, innehåller SM-fibrer och är lämpad för utomhusmiljöer i långa installationer i kanalisation och är konstruerad för nordiskt klimat med dess temperaturförändringar. Vid installation används blåsteknik för att installera kabeln i mikrodukter. Kabeln innehåller 12-288 primärskyddade fibrer som är fördelade i färgkodade lösa tuber av polyester fyllda med optofyllning. Optofyllningen, i kombination med svällgarn, säkerställer längsgående vattentäthet både i tuberna och i kabeln som helhet. En central dragavlastare av glasfiberarmerad plast (FRP) ligger i kabelns centrala del för att öka hållfastheten. Manteln är gjord av ett halogenfritt högdensitetspolyeten (HDPE) som är både slit-

starkt och fuktsäkert (Nexans, u. å-c). Figur 2.1 visar en tvärsnitts bild över Nexans GRHL Ultimate kabel.



Figur 2.1: Tvärsnitts bild av Nexans fiberoptiska kabel GRHL med innehållsbeskrivning. (Nexans Sweden AB, 2026-05-25). Omarbetad med tillstånd.

Nexans fiberoptiska kabel, betecknad GRHQ-K-CDGNRV, är konstruerad för att användas inomhus eller utomhus i ortssammanbindande nät, ortsnät, områdesnät och fastighetsområdesnät genom installation i kanalisation. Kabeln innehåller 4 till 96 primärskyddade fibrer och likt GRHL Ultimate är den optiska fibern fördelad i färgkodade lösa tuber av polyester fyllda med optofyllning, vilka i sin tur ligger som lösa tuber kring en central dragavlastare (FRP), se Figur 2.2. Kabeln innehåller även svällgarn, precis som GRHL, för att säkerställa längsgående vattentäthet. Kabelmanteln till GRHQ är gjord av HFFR-polyolefin (Halogen Free Flame Retardant) vilket är ett halogenfritt, flamskyddat material baserat på polyolefiner (Nexans, u. å-d). Kabeln är dessutom klassad enligt standarderna EN 13501-6, EN 60754-2 och EN 61034, vilket är standarder inom klassning för reaktion av brandpåverkan, surhetsgrad och konduktivitet hos brandgaser och röktäthet vid brand (European Committee for Standardization [CEN], 2018; International Electrotechnical Commission [IEC], 2005, 2014).



Figur 2.2: Tvärsnitts bild av Nexans fiberoptiska kabel GRHQ med innehållsbeskrivning. (Nexans Sweden AB, 2026-05-25). Omarbetad med tillstånd.

2.2.1 Mantel

Manteln är det yttersta skiktet på en fiberoptisk kabel. Kabelmanteln, som vanligtvis består av plastmaterial, har som huvudfunktion att skydda dess innehåll från mekaniska och miljömässiga påfrestningar. För fiberoptiska utomhuskablar är PE ett vanligt mantelmaterial och för fiberoptiska inomhuskablar används främst flamskyddade kabelmantlar (The Fiber Optic Association [FOA], u. å-a).

Fiberoptiska kablar kan utsättas för både mekaniska och miljömässiga påfrestningar, vilket beaktas i internationella standarder som IEC 60794-1-21 och IEC 60794-1-22 (IEC, 2015, 2017). Mekaniska belastningar, så som drag, nötning och slag kan ske under installation och i drift. Samtidigt kan faktorer som fukt, UV-strålning, temperaturvariationer och kemikalier påverka kabelns funktion och livslängd om de inte tas hänsyn till vid konstruktion och materialval.

Vid utomhusinstallationer är det viktigt att kabelmanteln består av slitstarka material, exempelvis HDPE, som ger god motståndskraft mot mekanisk påverkan. Det kan också vara viktigt med material som har bra fuktmotstånd och UV-resistivitet för installation under mark eller luftburen installation (IEC, 2015, 2017). För inomhusbruk behöver kabelmantlar vara tillverkade av material som inte bidrar till brandutveckling, rökbildning eller avger giftiga gaser (FOA, u. å-a). Flamskyddade, halogenfria kabelmantlar används därför i byggnader med brandkrav, eftersom de vid brand inte avger halogena gaser eller stora mängder rök. Materialen är utformade för att begränsa brandspridning och minimera utvecklingen av giftiga ämnen, vilket kan beaktas i standarder som återfinns för exempelvis Nexans kabel GRHQ med HFFR-material i mantel, där krav enligt EN 13501-6, EN 61034 och EN 60754-2 uppfylls (Nexans, u. å-d).

För att uppnå flamskydd utan halogen-tillsatser används andra kompletterande tillsatser som aluminiumtrihydrat (ATH) eller magnesiumhydroxid (MDH). Vid förbränning absorberar dessa material värme genom en endoterm kemisk reaktion och avger ånga vid en viss temperatur. Ångan stör förbränningen och det bildas ett förkolningslager som skyddar resterande innehåll. Nackdelen med ATH och MDH som kompletterande tillsatser är att draghållfastheten försämras då stora mängder av tillsatserna behöver adderas för att klara de tester som krävs vid brand (Anixter Inc., u. å).

PE har goda mekaniska egenskaper, god vatten- och kemikalieresistivitet och är relativt billigt att tillverka (Kemikalieinspektionen, u. å). HDPE är en typ av PE med hög grad av kristallinitet, vilket ger materialet högre hållfasthet och bättre mekaniska egenskaper än konventionell PE (Bersted & Cohen, 2020). HDPE mantlar är känsliga mot UV-strålning. UV stabiliserande tillsatser som ger god beständighet mot detta kan användas för att stoppa degrationen. HDPE mantlar lämpar sig väl för både markförlagda installationer och användning ovan mark i utomhusmiljöer (El-Hiti m. fl., 2022).

2.2.2 Optisk fiber

Glasfiberkärnan utgör den centrala delen av den optiska fibern. Den består normalt av ett mycket transparent glasmaterial baserat på kiseldioxid (SiO2), men kan i vissa tillämpningar även tillverkas av mycket ren plast. För att möjliggöra ljusledning är det ultrarena glaset vanligtvis dopat med små mängder germanium, vilket höjer brytningsindex i kärnan. Denna egenskap gör det möjligt att transportera ljus med mycket låg dämpning över långa avstånd. Ljuset leds genom kärnan med hjälp av intern reflektion. Detta uppnås genom att kärnan omges av ett optiskt hölje, så kallad cladding, som har ett lägre brytningsindex än kärnan. Skillnaden i brytningsindex mellan kärna och hölje är avgörande för att ljussignalen ska hållas instängd i kärnan och effektivt fortplantas längs fibern (Browder, u. å; FOA, u. å-c).

Kärnans diameter varierar beroende på fibertyp. SM-fibrer har en kärndiameter på cirka 9 mikrometer, vilket innebär att endast en mod kan fortplantas. Multimodfibrer (MM-fibrer) har däremot en större kärndiameter som kan vara omkring på 50 mikrometer eller mer, vilket tillåter flera moder samtidigt. Detta leder till ökad modal dispersion och därmed kortare maximala överföringsavstånd (FOA, u. å-c).

Materialets renhet, den geometriska precisionen samt brytningsindexprofilen är avgörande för fiberprestandan. Även små variationer kan påverka dämpning, dispersion och därmed den totala överföringskapaciteten. Glasfiberkärnan är därför en högteknologisk komponent där både tillverkningsprocessen och optisk design är kritiska för att uppnå önskade egenskaper (FOA, u. å-c).

Då det oftast förekommer fler optiska fibrer i en fiberoptiskt kabel brukar dessa fördelas i buntar. De olika buntarna kan bestå av 12-48 fibrer och omges av färgade tuber av polyester, vilket visualiseras i Figur 2.2 (Nexans, u. å-c). Färgkodade tuber enligt standarder som S12 och TIA/EIA-598 används för att underlätta installa-

tion, identifiering och felsökning samt bidrar till en tydligare och mer strukturerad kabelkonstruktion (Hexatronic, u. å; Nexans, u. å-b; FOA, u. å-b).

2.2.2.1 Germanium

Idag utvinns Grundämnet till största del i Ryssland, Kina, Kazakstan och Finland. Ryssland besitter i dagsläget de största germaniumreserverna med cirka hälften av världens innehav medan Kina står för cirka 80 procent av produktionen. Få fynd har funnits i Sverige men ej visat sig vara brytbara i dagsläget vilket medgett att ingen produktion av Germanium finns i Sverige. I dagsläget utvinns grundämnet oftast som en biprodukt vid zinkutvinning, från malmmineralen zinkblände, men även från kolflygaska där processen för utvinning innefattar kemisk separation och rening till mycket hög reningsgrad (Sveriges geologiska undersökning [SGU], 2020).

Germanium är en halvmetall som är välkänd för sina halvledaregenskaper. Dess kemiska uppbyggnad har samma kristallina struktur som diamant och är ett väldigt sprött material likt glas. Materialet, som är ett väldigt rent material, dopas ofta med andra ämnen, såsom kisel eller arsenik, för att uppnå de egenskaper som produkten kräver. Germanium har på grund av sin renhet även ett väldigt högt brytningsindex och låg dispersion vilket är fördelaktigt vid transport av ljus (U.S. Geological Survey, u. å).

Grundämnet kan användas inom diverse industrier där god halvledningsförmåga är av hög prioritet. Germanium var länge det primära valet inom elektronik där ämnet användes som halvledare i dioder och transistorer. Sen 1970-talet har det blivit mer och mer ersatt av det billigare alternativet kisel (U.S. Geological Survey, u. å). Ämnet används även inom optik, katalysatorer, solceller, fiberoptiska system och som legering för att förbättra metallers egenskaper. Inom fiberoptikindustrin har dock inget substitut för germanium funnits och behovet är stort. Den fiberoptiska och infrarödoptiska industrin står idag för majoriteten av konsumtionen av germanium medans en fjärdedel används för katalysatorer och cirka 15 procent används till solceller och elektronik (SGU, 2020).

Germanium är ett grundämne som har en större efterfrågan än utbud och klassas idag som bristvara. EU klassar, bland flera andra ämnen, germanium som ett kritiskt råmaterial (European Commission, u. å).

2.2.3 Central dragavlastare (FRP)

Fiber reinforced plastic (FRP), på svenska fiberarmerad plast, används i många fiberoptiska kablar som ett centralt förstärkningsmaterial för att öka draghållfasthet, bidra till låg vikt samt medge en längre livslängd på produkten. Den centrala dragavlastaren, som består av FRP, är av typen kompositmaterial och består av en polymermatris. Polymermatrisen är vanligtvis baserad på epoxi eller polyester, som sedan vävs samman med glasfibertrådar (Qureshi, 2022).

I kabelkonstruktionen förekommer dragavlastaren oftast som en stav placerad centralt i konstruktionen. Komponenten står för den mekaniska bärigheten, och syftar till att skydda de optiska fibrerna från töjning, i den fiberoptiska konstruktionen och har även goda kemiskt motståndskraftiga egenskaper (FOA, u. å-a).

Glasfibrerna i sig tål en väldigt begränsad mängd mekanisk töjning. Dragavlastarens material är inte lika begränsad i mekanisk belastning och fungerar därmed som kabelns strukturella ryggrad. En fiberoptisk kabel med förstärkningselement medför därmed en minskad risk för mikroböjningar vid installation och en möjlighet att säkerställa att de optiska egenskaperna bibehålls över tid (FOA, u. å-a).

2.3 Reglerverk i Sverige och EU

Det Svenska regelverket består av grundlagar, lagar, förordningar samt myndighetsföreskrifter där riksdagen och regeringen har ett centralt ansvar i normgivningen. Som medlemsstat i EU är Sverige även bunden av EU-rätten vilken vid konflikt har företräde framför nationell rätt. EU-förordningar gäller direkt i Sverige medans EU-direktiv skall tolkas och införlivas i nationell lagstiftning (Sveriges riksdag, 2020).

2.3.1 Avfallsdirektiv

Fiberoptiska kablar omfattas sedan 2024 av en allmän kabellagstiftning, efter ett beslut i Miljööverdomstolen, där all kabel klassificeras som farligt avfall om andra bevis ej bifogas (Naturvårdsverket, 2025b). För återvinningsföretag i Sverige innebär detta omstruktureringar och krav på högre kompetens och rutiner då återvinningskedjan blir mer komplex. Höga krav sätts på återvinningsföretagen då felrapportering till naturvårdsverket kan resultera i miljösanktionsavgifter (Stena Recycling, u. å).

Fiberoptiska kablar har brukats i Sverige sedan 80-talet (Riksarkivet, u. å). Över tid har bland annat mjukgörande medel använts i plasten. Svenska kabeltillverkare har med tid fasat ut de material som anses farliga och erbjuder idag datablad för att hänvisa till korrekt klassificering av sina produkter (Stena Recycling, 2025).

Då fiberoptisk kabel infaller under ett generellt direktiv för alla kablar finns det inget optimerat sätt att hantera kabelavfallet. Selcable är en organisation som arbetar för att underlätta avfallshanteringen av kablar och syftar till att skapa en standardisering och ett förtydligande kring kabelhanteringen inom Sverige. Detta gör de genom att främja branschens intresse genom att få naturvårdsverket att se över dess klassificeringar av kablar. Selcable bidrar genom deras arbete med ett standardiserat underlag för Sveriges kabelaktörer att tolka befintlig kabelmärkning på ett enhetligt sätt för att underlätta hantering och medge en hållbar utveckling inom kabelindustrin (Selcable, 2025a, 2025b).

2.3.2 Producentansvar

Producentansvar innebär att företag som sätter produkten på marknaden ansvarar för dess insamling, återvinning, avfallshantering och miljöpåverkan. Detta baseras på EU:s politik för att uppnå en mer cirkulär ekonomi där principen att förorenaren ska betala är en central del (Naturvårdsverket, 2026). Regelverken syftar både till att minska produkternas miljöpåverkan och att säkerställa att konsumenter skyddas mot defekta eller farliga produkter.

För fiberoptiska kablar gäller detta krav på bland annat kemikalieinnehåll i kabelmantlar, FRP, lim, färgämnen och plastkomponenter under kemikalielagstiftning såsom RoHs-direktivet och REACH-förordningen (Arbetsmiljöverket, 2023; European Parliament and Council of the European Union, 2011). EU:s arbete arbetar även med framtida krav om att ställa högre krav på återvinningsbarhet, materialspårbarhet och hållbar konstruktion.

Av Naturvårdsverket, som i Sverige är den centrala myndigheten som ansvarar för producentregistret, framgår det att producenterna måste registrera sig, finansiera insamling och återvinning samt rapportera de mängder som produceras. Naturvårdsverket implementerar EU:s direktiv utifrån myndighetens perspektiv (Naturvårdsverket, 2026).

2.3.3 Standarder för fiberoptiska kablar

Standarder för fiberoptiska kablar säkerställer att de är tillförlitliga, säkra, jämförbara och interoperabla, oavsett tillverkare eller land. De fungerar som ett gemensamt tekniskt språk mellan tillverkare, installatörer, myndigheter och användare, vilket möjliggör en långsiktig och skalbar nätutbyggnad (Svenska institutet för standarder [SIS], u. å).

Vanliga organisationer som står bakom standarder för fiberoptiska kablar är International Electrotechnical Commission (IEC), International Telecommunication Union (ITU) samt europeiska standardiseringsorganisationer såsom European Committee for Standardization (CEN), European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC) och European Telecommunications Standards Institute (ETSI), vilka ansvarar för att utveckla och publicera harmoniserade EN-standarder. Dessa implementeras därefter nationellt, där de i Sverige antas som SS EN-standarder genom Svenska institutet för standarder (SIS) och SEK Svensk Elstandard (SEK).

Den svenska standarden SS 424 18 86 omfattar typbeteckningar för fiberoptiska kablar, vilket möjliggör en enhetlig klassificering och identifiering av olika kabeltyper. Beteckningen beskriver bland annat kabelns konstruktion, användningsområde och egenskaper (Svensk Elstandard [SEK], 2016).

IEC har bland annat har tagit fram standarder för optisk fiber (IEC 60793-serien) och fiberoptiska kablar (IEC 60794-serien). Optiska fibrer standardiseras i IEC 60793-serien som omfattar både mät- och provningsmetoder för fiberparametrar såsom optiska, geometriska och mekaniska egenskaper samt produktspecifikationer

och prestandakrav för olika fibertyper, exempelvis SM och MM (IEC, u. å-b). Optiska fiberkablar standardiseras inom IEC 60794-serien, som omfattar både generella provningsmetoder och produktstandarder. Serien inkluderar testmetoder för mekanisk, miljömässig och optisk provning samt fastställer krav för olika kabeltyper och installationsmiljöer, såsom inomhus-, utomhus-, mark- och luftförlagda kablar (IEC, u. å-a).

ITU är ett av FN:s fackorgan, där ITU-T är standardiseringsorganet inom telekommunikation vilket samordnar internationella standarder, så kallade ITU-T-rekommendationer, för hur telekommunikation ska operera och interagera. Trots att rekommendationerna är frivilliga, används de ofta på grund av dess höga kvalitet och globala sammankoppling (International Telecommunication Union [ITU], u. å). De vanligaste ITU-T-standarderna för fiberoptiska kablar återfinns inom G.65x-serien, som omfattar specifikationer för optiska fiber och tillhörande karakteriseringsmetoder, exempelvis G.652 och G.657 (ITU, 2024a, 2024b). IEC-standarder kompletterar ITU-T-rekommendationerna genom att specificera provningsmetoder för mekaniska och miljömässiga krav på optisk fiber och fiberoptiska kablar, exempelvis IEC 60794-1-21 och IEC 60794-1-22 (IEC, 2015, 2017).

Utöver de tekniska krav som fastställs av ITU-T och IEC finns även regelverk som behandlar säkerhets- och brandegenskaper, såsom Construction Products Regulation (CPR) och tillhörande EN-standarder, exempelvis SS-EN 50575 (SEK, 2014).Dessa regelverk kompletterar varandra och säkerställer att fiberoptiska kablar uppfyller både tekniska prestandakrav och krav på säker installation och användning i byggnader.

När en kabel installeras i byggnader inom EU omfattas de av EU:s byggproduktsförordning, CPR. CPR ställer krav på säkerhet vid brand, tydligare märkning samt enhetlig brandklassning. Tidigare ställdes det enbart krav på brandspridningen men sedan 2017 ställs det även krav på värme- och rökutveckling, droppbildning samt syrehalt i kablarna (Nexans, u. å-a). Standarderna EN 13501-6, EN 60754-2 och EN 61034 är europeiska standarder som klassar just detta.

2.4 Återbruk

Återbruk inom den fiberoptiska industrin innebär att befintliga fiberoptiska kablar återanvänds eller tas till vara på efter demontering för att minimera anskaffandet av nytillverkade produkter. Detta innebär potentiell återanvändning av fiberoptiska kablar i nätombyggnader och uppgradering av befintlig infrastruktur vilket medger en förlängning av systemens livslängd. Naturvårdsverket menar att återbruk öppnar upp för minskad resursförbrukning och en reducerad klimatpåverkan. Utöver detta bidrar återbruk till en cirkulär ekonomi och ett minskat behov av jungfruliga material och energikrävande produktion (Naturvårdsverket, u. å-a).

2.4.1 Återtillverkning

Återtillverkning, mer känt som remanufacturing, är en återbruksprocess där man återställer produkten och säkerställer dess prestanda och kvalitet inför återintroducering på marknaden. Återtillverkning är en hållbar och resurseffektiv metod som används inom diverse industrier för att minimera utsläpp och avfall samt förlänga livslängden hos flertalet produkter. Processen bidrar till en ökad cirkularitet ekonomiskt och miljömässigt (Mustajib m. fl., 2017).

Återtillverkning baseras på att det finns ett fungerande system för insamling av uttjänta produkter. Vid insamling inspekteras och sorteras produkterna för att sedan rengöras och demonteras i den mån som anses nödvändig. Produkten repareras sedan och återställs. Vad som skiljer återtillverkningen från den ursprungliga produktionen är att utgångspunkten kan besitta en större variation. Detta medför att återtillverkning kräver en mer flexibel arbetsprocess. För att undvika komplex återtillverkning kan man redan vid konstruktion designa produkten med hänsyn till återtillverkning även benämnt, design for remanufacturing, vilket betyder att produktens slitagedelar är lättåtkomliga och utbytbara (Nasr, u. å).

Då produkten genomgått diverse steg ska den likt nyproducerade produkter gå igenom tester och kvalitetssäkring. Produkten kan sedan återplaceras på marknaden, möjligtvis på en kortare tidshorisont än vid nytillverkning (European Remanufacturing Network, u. å).

2.5 Återvinning

Återvinning, enligt EU:s avfallstrappa, innebär en behandling av avfall så att material bearbetas till nya produkter eller råvaror. Återvinning är ett alternativ som rangordnas under förebyggande åtgärder och återbruk i avfallstrappan, men som ändå är att föredra framför energiåtervinning och deponering (Naturskyddsföreningen, 2021a). I Sverige innebär materialåtervinning att ett avfall upparbetas till en ny produkt. Bränsle och fyllnadsmaterial räknas inte som produkter, enligt miljöbalkens 15 kap. 6 § (Miljöbalk (1998:808), 1998). Inom fiberoptisk industri innebär återvinning av kablar att glasfiber och plastskal separeras och återanvänds i nya processer. Detta kan möjliggöras genom bland annat mekaniska, termiska och kemiska återvinningsmetoder.

2.5.1 Mekanisk återvinning/separation

Mekanisk separation är idag den mest resurseffektiva metoden gällande återvinningsprocesser. Processen går ut på att separera materialfraktioner mekaniskt utan kemiska eller termiska processer. Målet är att nå en hög renhetsgrad med lite spill för att uppnå en god materialåtervinning. Mekanisk separation används mest frekvent inom återvinning av kablar, plast, metaller och kompositer (Landberg, 2021).

Mekanisk separation räknas som en nedströmsprocess av material då kvaliteten blir något, alternativt mycket, sämre (Landberg, 2021). Mekanisk återvinning påvisar sig dock vara den metod som visar bäst resultat utifrån energi- och kostnadsbesparingar (Garcia-Gutierrez m. fl., 2023).

Processen följer i stort sett 4 olika steg för att uppnå ett högkvalitativt slutresultat gällande hantering av plast. Förbehandling är det steg som kommer först i processen. Produkten går igenom sortering, kapning, skalning eller grovfragmentering. De första steget behandlar därmed den grövsta separationen. Produkter separeras ofta för hand och materialseparationen sker ofta med hjälp av en större anordning där produkten skickas in i ena änden, klyvs och skickas i grova fragment ut på andra sidan av anordningen. Produkten transporteras sedan vidare till en finare mekanisk separationsprocess som kallas för granulering. Produkten matas in i anordningen där det sker en andra storleksreducering som utförs med hjälp av roterande knivar som hackar sönder produkten i mindre fragment till storlekar på 4-10 mm (Naturvårdsverket, u. å-b).

Då produkten gått igenom granuleringsprocessen kan det ingående materialet vidare separeras baserat på densitetsskillnader, magnetiska egenskaper, elektriska egenskaper eller en kombination av dessa. Detta sker i steg 3, separation. Produktens material är i slutsteget färdigseparerade och redo för att användas till nya produkter, smältas ner eller gå vidare till ytterligare avfallshantering (Fråne m. fl., 2022).

Mekanisk separation används fördelaktigt för diverse kablar och är mycket vanligt inom plastindustrin (European Environment Agency, 2024). Inom elkraftkabelindustrin används granulering frekvent för att utvinna de ingående metallerna då dessa har ett högt andrahandsvärde och där processen erbjuder en hög metallrenhet (Wędrychowicz m. fl., 2023).

2.5.2 Mekanisk plaståtervinning

Vid mekanisk plaståtervinning smälts plastprodukter ned för att sedan formas om, antingen till nya produkter eller till plastpellets. Vilken kvalitet det återvunna materialet får är starkt beroende av renhetsgraden och sammansättningen av det inkommande plastflödet. Därför är sortering och tvättning av plasten ett avgörande förbehandlingssteg före återvinningsprocessen. I vissa fall adderas tillsatser eller jungfruligt plast för att förbättra det återvunna materialets egenskaper. Mekanisk återvinning är en relativt billig metod, både energimässigt och kostnadsmässigt och är idag den mest effektiva och använda metoden för att återvinna plast (IKEM – Innovations- och kemiindustrierna i Sverige, u. å). Metoden är väl lämpad för återvinning av termoplaster såsom polyolefiner eftersom dessa material kan smältas ned och omformas. Antalet återvinningscykler är dock begränsat, då upprepade processer kan leda till försämrade materialegenskaper (Naturvårdsverket, 2025c; Swanson m. fl., u. å).

2.5.3 Kemisk återvinning

Kemisk återvinning av plast är en metod där plastmaterial, genom kemiska processer, omvandlas till enklare molekyler då polymerkedjorna bryts ned. Molekylerna, i form av monomerer eller andra mindre kolväten, kan sedan användas till att tillverka nya plastprodukter, användas som kemikalier eller som drivmedel. Metoden möjliggör återvinning av blandade plastströmmar då olika tillsatser och förstärkningsmaterial som glas- eller kolfiber kan separeras bort (RISE Research Institutes of Sweden AB [RISE], u. å). Det återvunna materialet från plasten kan få samma kvalitet som jungfrulig plast (Lassesson m. fl., 2021).

Ett exempel på en termokemisk process är pyrolys. Pyrolys är en process där man vid höga temperaturer och i en syrefattig miljö separerar kovalenta bindningar i organiska material (Moore, 2020). Den syrefattiga miljön är en av förutsättningarna som skiljer pyrolysen från förbränning då inget syre tillförs. I processen bryts polymermolekyler ner till mindre beståndsdelar. Flera typer av plaster, exempelvis polyolefiner, kan brytas ned genom processen, vilket indikerar att metoden har potential att tillämpas på fiberoptiska kablar (Lassesson m. fl., 2021).

Pyrolys är idag en etablerad process som främst används inom den kemiska industrin för att tillverka bränsle då resultatprodukten som utges är pyrolysolja med tillhörande restprodukter såsom restgas, koks och tjära (Naturvårdsverket, 2025c). Det finns utöver detta ett flertal olika varianter av pyrolys och även olika klassificeringar som används för att åstadkomma olika resultat i produkter eller utvinningsgrad (Moore, 2020).

En annan kemisk återvinningsmetod är solvolys. Solvolys lämpar sig bra för bland annat polyolefiner. Solvolys kan benämnas olika beroende på vilket lösningsmedel som används och därmed vilken reaktion som sker. Vid återvinning av PE används vatten som lösningsmedel i kombination med hög temperatur och högt tryck. Kemiska tillsatser från materialet bryts ned och resultatprodukten blir huvudsakligen olja med koks och aromater i vattenfas som biprodukt (Lassesson m. fl., 2021; Naturvårdsverket, 2025c).

2.5.4 Energiåtervinning

Energiåtervinning är ett behandlingssteg som används när förebyggande åtgärder, återbruk och materialåtervinning inte är tekniskt eller miljömässigt motiverande enligt avfallshierarkin. Energiinnehållet i avfallet utvinns, för fiberoptiska kablar, genom förbränning för exempelvis produktion av fjärrvärme eller som ersättning för fossila bränslen i industriella processer (Naturvårdsverket, 2025a).

Inom cementindustrin används plastbaserade restfraktioner som alternativa bränslen då processen möjliggör effektiv energiutvinnings samtidigt som glasfibern integreras i cementklinkern vilket höjer de mekaniska egenskaperna hos produkten (Menna m. fl., 2025).

3

Metod

Avsnittet beskriver metoden som har använts för att utföra arbetet. Syftet med avsnittet är att erbjuda en transparent studie som ska kunna replikeras på ett likvärdigt sätt.

3.1 Litteraturstudie

Som en inledande del i litteraturstudien användes ett generativt AI-verktyg för att kartlägga centrala begrepp och skapa översiktlig förståelse för forskningsområdet. All information som framkom verifierades sedan med litteraturstudie i vetenskapliga artiklar, grålitteratur och andra trovärdiga källor. Inget AI-genererat innehåll användes som källa.

Studien genomfördes som en kartläggande litteraturöversikt för att kartlägga befintlig forskning, tekniska möjligheter och regelverk med avseende på återbruk och återvinning av fiberoptiska kablar i en svensk kontext. Litteratursökningar genomfördes i databaserna Web of science, Scopus och Google Scholar samt i grå litteratur av myndigheter och branschorganisationer.

I databasen Web of Science användes deras AI-Assistant för att generera relevanta artiklar. Enklare söksträngar, exempelvis ”återbruk av fiberoptiska kablar”, kunde användas eftersom AI-assistenten granskade flertalet artiklar och lade fram en översikt med stöd av artiklar i databasen. Detta kombinerades med att använda mer avancerade söksträngar i det vanliga sökfältet i respektive databas.

Söksträngar som användes för att hitta metoder för återbruk och återvinning av fiberoptiska kablar presenteras i Bilaga A.1 och några exempel på sökord som användes presenteras i Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Översikt av sökstrategi.

Kategori	Exempel på sökord
Återbruk	fiber optic cable AND (reuse OR repurpose) AND circular economy
Återvinning	optical fiber cable AND (recycl* OR recovery OR end-of-life)
Material	germanium AND (recycl* OR recovery) AND (optical fiber)
	polyethylene AND (recycl* OR mechanical recycling) AND waste management
	(FRP OR fiber reinforced plastic) AND recycl* AND circular economy

Efter den initiala sökningen reducerades antalet träffar genom avgränsning av sökresultaten baserat på ämneskategori, dokumenttyp och publiceringsår. En av de dokumenttyper som prioriterades var översiktsartiklar, då dessa gav en sammanfattande bild av forskningsområdet. Dessa användes även som utgångspunkt för vidare litteratursökning, där referenserna i artiklarna granskades för att identifiera ytterligare relevanta studier. Vidare sorterades artiklarna efter citeringar, relevans eller datum för att identifiera inflytelserika artiklar, relevanta artiklar enligt söksträngar och nya artiklar.

De artiklar som återstod kunde sedan gås igenom, genom att först läsa titel. Om titeln var relevant kunde abstract och resultat läsas för att få en enklare överblick av innehållet. Då innehållet ansågs relevant sparades den ned i ett samlat dokument med enklare beskrivning av innehållet. Målet var att samla in så mycket information som möjligt under en begränsad tid, på en arbetsvecka, av respektive del: återbruk, återvinning och materialanalys. Efter insamlingen av allt material gallrades källorna ytterligare genom en mer noggrann analys av innehållet, i syfte att inkludera de mest relevanta källorna för studien.

Datainsamlingen av standarder och regler skedde inledningsvis som en orienterande litteraturöversikt. Detta utfördes med stöd av generativ-AI och allmänt tillgängliga översiktskällor för att identifiera centrala begrepp och relevanta standarder samt skapa en orienterande förståelse för ämnet. Därefter genomfördes en systematisk dokumentstudie för att identifiera relevanta standarder, branschrelaterad grålitteratur samt myndighetsrapporter.

3.2 Materialanalys

Materialanalysen genomfördes, som en förlängning av litteraturstudien, i syfte att identifiera och sammanställa information kring de specifika material som används i Nexans fiberoptiska kablar med beteckning GRHL samt GRHQ. De materialkomponenter som hanterades var den optiska fibern, plastmaterialet i skydds- och man-

tellager samt FRP som mekaniskt förstärkningsmaterial. Analysen fokuserade på komponenternas sammansättning och syfte i konstruktionen.

Informationsinsamlingen utfördes genom systematiska webbsökningar i flera källor. Vetenskaplig litteratur identifierades via databaser som Google Scholar, Scopus och Web of Science där relevanta artiklar, patent och studier granskades. Teknisk dokumentation från kabeltillverkare och standarder sammanställdes tillsammans med tidigare sökning vilket möjliggjorde en bredare och verklighetsnära materialöversikt. Som stöd i informationssökningen användes även ett AI-baserat språkverktyg. Verktyget nyttjades föra att strukturera insamlad information och formulera sammanfattningar. All information som genererades i kollaboration med AI verifierades mot ursprungliga källor innan den inkluderades i analysen.

Den insamlade informationen analyserades kvalitativt och sorterades utifrån materialens funktionella syfte i kabeln. Resultatet av materialanalysen användes som underlag för vidare analys inom arbetet, såsom materialåtervinningsmöjligheter.

3.3 Intervjustudie

En kvalitativ intervjustudie genomfördes för att kartlägga och få en förståelse för hur branschaktörer som återvinningsföretag och telekomföretag arbetar med återbruk och återvinning av fiberoptiska kablar.

Flera återvinningsföretag som arbetar med återvinning av kabelavfall i Sverige kontaktades för att se om medverkan på en intervju vore intressant. Totalt nio företag kontaktades varav fem stycken ställde upp på intervju. Utöver svenska aktörer kontaktades även återvinningsföretag utanför Sverige för att bredda underlaget. Dessa förfrågningar ledde dock inte fram till några intervjuer då respons uteblev. Dessutom kontaktades en telekomföretag som deltog på en intervju.

Inför intervjuerna sammanställdes två intervjumallar separat, en för återvinningsföretag (se Bilaga A.2), och en för telekomföretaget (se Bilaga A.3). Första frågan i mallen var vilken hantering aktören har av fiberoptiska kablar, varav de efterföljande frågorna fick anpassas beroende på om de hanterade dem, delvis eller inte alls. Sedan ställdes frågor om bland annat process och logistik, separationstekniker, materialåtervinning samt möjligheter och hinder av återbruk och återvinning av fiberoptiska kablar. Utöver frågorna från mallen fick alla deltagare även möjlighet till att lägga till ytterligare information som kunde anses vara av värde till studien.

Merparten av intervjuerna spelades in för att möjliggöra transkribering och efterföljande analys. Samtliga deltagare gav sitt informerade samtycke till inspelning. En intervju dokumenterades dock inte genom ljudinspelning på grund av ett förbiseende, utan sammanställdes istället genom stödanteckningar. Inspelningarna användes uteslutande i syfte att transkribera och analysera innehållet. Samtliga inspelade intervjuer förvarades på ett säkert sätt, där endast projektets deltagare hade tillgång till materialet och raderades efter att analysen färdigställts. För att säkerställa deltagarnas anonymitet och följa god forskningspraxis anonymiseras samtliga intervjuade

i resultatredovisningen. De benämns därför som respondent 1, respondent 2 och så vidare.

Intervjuerna genomfördes som semistrukturerade intervjuer på 20-30 minuter, där en intervjumall användes som stöd för att hålla samtalet fokuserat på studiens ämne. Om relevanta och intressanta aspekter som inte omfattades av mallen uppkom kunde följdfrågor ställas, medan samtalet vid mindre relevanta utsvävningar styrdes tillbaka till ämnet. Intervjuerna avslutades alltid med att informera om att arbetet gärna delades med intervjuad part i slutet av arbetet för att informera om vad analysen kommit fram till.

Efter samtliga intervjuer sammanställdes materialet i ett dokument där varje aktörs svar placerades under respektive frågeställning för att kunna analysera och jämföra svaren mot varandra, för att hitta teman och mönster.

3.4 Analys

Analysen utfördes i syfte att identifiera likheter och variationer mellan olika metoder för återbruk och återvinning. Metoderna utvärderades utifrån ekonomiska, miljö-, energi- samt hanteringsmässiga perspektiv, varav en tabell gjordes för att visuellt demonstrera för- och nackdelar.

Analysarbetet baserades på ett jämförande angreppsätt där insamlad data strukturerades och kategoriserades utifrån de valda perspektiven. Information från litteraturstudien och intervjustudien analyserades först separat för att identifiera centrala teman och mönster, varefter resultaten jämfördes systematiskt.

Jämförelsen mellan litteraturstudien och intervjustudien möjliggjorde metodtriangulering, där teoretiska och forskningsbaserade insikter ställdes mot empiriska erfarenheter från praktiken. I de fall där resultaten överensstämde stärktes trovärdigheten, medan skillnader analyserades vidare för att förstå bakomliggande orsaker, såsom kontextuella skillnader. Ytterligare sammanställdes analysen från de olika studierna och förslag på återvinningsflöden presenterades. Analysen bidrog till en fördjupad förståelse av de studerade metoderna och möjliggjorde en nyanserad och välgrundad tolkning av studiens resultat.

4

Resultat från litteraturstudie

I följande kapitel presenteras litteraturstudiens resultat, indelade i delkapitlen återbruk av fiberoptiska kablar och återvinning av fiberoptiska kablar

4.1 Återbruk av fiberoptiska kablar

Från litteraturstudien identifierades potentiella återbruksområden för fiberoptiska kablar. Nedan presenteras resultatet från litteraturstudien där distributed fiber optic sensing (DFOS) och learnable digital signal processing (LDSP) kan anses som återbruksområden. Ytterligare nämns ett exempel på återtillverkning.

4.1.1 Distributed fiber optic sensing

DFOS är ett snabbt växande teknikområde där befintlig fiberoptisk infrastruktur kan återanvändas för att mäta vibrationer och temperatur i dess omgivning. Metoden bygger på att glaset i de fiberoptiska kablarna är känsligt för både mekanisk töjning och temperaturförändringar, vilket gör att själva fibern kan fungera som en distribuerad sensor. Detta möjliggörs genom analys av hur ljus sprids tillbaka i glaset, där Rayleigh-, Brillouin- och Raman-spridning ingår. Dessa tre olika bakåtspridningar kan mäta miljöfaktorer som vibrationer, akustik och temperatur längs med hela fiberkablarna med en god precision (Ip m. fl., 2022).

Ett användningsområde för DFOS, särskilt i form av distribuerad akustisk avkänning (DAS), är stadsövervakning inom ramen för utvecklingen av smarta städer. Liu m. fl. (2025) skriver i studien att det har visats sig ha stor potential, där man bland annat kan övervaka allt från seismisk riskövervakning till trafikflöden och strukturell hälsoövervakning.

Young m. fl. (2020) beskriver användningen av fiberoptisk sensorteknik, genom distribuerad vibrations avkänning (DVS), för att mäta den strukturella hälsan hos limmade fogar mellan olika material i biltillämpningar. Genom denna teknik kunde töjningar och termisk expansion övervakas i realtid vid en lackeringsprocess av en bil där materialen utsätts för temperaturcyklar på upp till 190°C. Den optiska fibern kunde fungera som tusentals sensorer längs dess längd med ett mätintervall på 0,65mm.

4.1.2 Learnable digital signal processing

Djupinlärning med artificiell intelligens kan användas för att förbättra signalbehandlingen för optisk fiberkommunikation. Digital signal processing (DSP)-enheter arbetar konventionellt med blockvis signalbehandling för att motverka störningar, vilket ofta leder till begränsad prestanda. LDSP gör det möjligt för DSP-modulerna att kommunicera på en global nivå (Ip m. fl., 2022).

Niu m. fl. (2024) utförde ett experiment för att testa om LDSP är mer effektivt än konventionell DSP. Experimentet utfördes över fiber på 16 000 kilometer med en signal på $400\,\mathrm{Gbit\,s^{-1}}$. Resultatet av experimentet visade en ökning av signalkvaliteten med 1,21 dB när LDSP användes tillsammans med algoritmer för olinjär kompensation.

4.2 Återvinning

Litteraturstudien har resulterat i flera möjligheter för end-of-life-hantering av fiberoptiska kablar. I detta stycke redovisas resultaten inom återvinning.

Mellan 2005 och 2007 genomfördes EU projektet Long fibre recycling (L-FIRE), koordinerat av KEMA Nederland BV. Projektet studerade nya återvinningsmetoder för bland annat fiberoptiska kablar. De beskriver mekanisk separation som en ineffektiv process då uppbyggnaden av de fiberoptiska kablarna är komplex samt att materialen är starkt bundna till varandra. Fiberkompositens höga hållfasthet försvårar en effektiv granulering, samtidigt som gelen binder till olika material, vilket leder till att blandade klumpar bildas. Deras förslag är en metod där fiberoptiska kablars komponenter bryts ned stegvis genom en kombination av mekaniska och kemiska behandlingar. Resultaten från projektet visade att dessa metoder endast utvecklades på laboratorienivå. De lyckades bland annat avlägsna gel med hjälp av särskilda gelbindemedel eller kemiska lösningsmedel samt förbättra separationen av olika materialfraktioner (EU, 2011).

I studien av Pringsakul m. fl. (2023) undersöks möjligheten att återvinna hela fiberoptiska kablar med pyrolys för att skapa ett alternativt bränsle. Kabeln som användes bestod till största del av HDPE men även optisk fiber, FRP och polybutylentereftalat (PBT). Processen fungerar som en separationsmetod där plasterna blir till bränsle och glaset från den optiska fibern och från glasfiberkompositen blir kvar i fast form, ofta benämnd som restkol. Det uppmätta övre värmevärdet (HHV) för pyrolysoljan var cirka $45\,\mathrm{MJ\,kg^{-1}}$, vilket ligger i nivå med värmevärdet för konventionell diesel. Studien visar på att pyrolys av fiberoptiska kablar är en genomförbar metod för att skapa ett alternativa bränsle och skapa en hållbar lösning för utrangerade fiberoptiska kablar. Möjligheten har även undersökts och patenterats. Bum (2020) presenterar en metod av en pyrolysanläggning specifikt konstruerad för fiberoptiska kablar. Anläggningen används för att hantera optiska kablar och syntetiskt resin också kallat konstharts. Polymermantlar bryts ned termiskt och omvandlas till pyrolysolja och gas samtidigt som optiska fiber och andra icke-organiska komponenter kan separeras.

I patentet av Takahashi m. fl. (2013) beskrivs en metod där överhettad ånga används för att separera de ingående materialen i fiberkabeln. Syftet med patentet är att tillhandahålla en process som är ekonomisk och miljövänlig, där man kan separera de olika materialen utan att förstöra dem. Under 30 sekunder till 10 minuter exponeras kabeln för överhettad ånga, vilket leder till att plasten mjuknar. Därefter kan handkraft användas för att dra ut den optiska fibern och dragavlastaren från höljet. Två typer av processer beskrivs, batch-typ och flödes-typ där flödestypen är en kontinuerlig process som är ungefär dubbelt så effektiv som batch-typen.

Från litteraturstudien identifierades få enhetliga lösningar av fiberoptiska kablar. Därav lades mer fokus på återvinning av de separata materialen i kabeln. Dessa återvinningsmetoder beskrivs ytterligare under de tre nästkommande rubriker

4.2.1 Mantel

Kabelmantlarna av GRHL och GRHQ består av ett HFFR-polyolefinbaserat material respektive ett HDPE och innehåller tillsatser som exempelvis flamskyddsmedel (Nexans, u. å-c, u. å-d). Dessa plaster faller under kategorin termoplaster och kan därav smältas ned och formas om via mekanisk plaståtervinning (Schyns & Shaver, 2021).

Vid mekanisk plaståtervinning försämras materialets egenskaper successivt vid varje bearbetning. Detta beror delvis på att polymerkedjor bryts ned, förgrenas eller korslänkas men även på att materialet förorenas av andra plaster eller tillsatser. Kvaliteten på det återvunna materialet är därför starkt beroende av hur rent insatsmaterialet är, vilket gör noggrann sortering till ett avgörande steg före återvinningen (Schyns & Shaver, 2021). I rapporten av Swerea IVF (2018) beskrivs det att HFFR avfall från kablar är mycket känsligt mot kontamination av PVC. Bara en bråkdel PVC i HFFR-material kan kraftigt försämra de mekaniska egenskaperna hos det återvunna materialet. Dessutom kan HFFR material påverkas av termisk nedbrytning under återvinning och i vissa fall även av fukt beroende på polymer och tillsatser. Detta försvårar den mekaniska återvinningsprocessen och kan leda till förändrade mekaniska egenskaper samt påverkan på flamskyddsprestandan (Bifulco m. fl., 2024). På grund av dessa degraderingar finns det begränsningar i hur många gånger plast kan återvinnas mekaniskt innan dess egenskaper blir otillräckliga. När denna gräns nås krävs alternativa behandlingsmetoder (Schyns & Shaver, 2021).

Polyolefiner kan även återvinnas via kemisk återvinning, främst i termokemiska processer som pyrolys och förgasning. Schade m. fl. (2024) beskriver kemisk återvinning som ett nödvändigt komplement till mekanisk plaståtervinning då plaster når slutet på livscykeln. Plasterna bryts då ned till en blandning av kolväten som sedan kan användas som råvaror i den kemiska industrin.

I dagsläget är energiförbränning det vanligaste alternativet får återvinning av polyolefiner. Jämfört med brännbara oljor har polyolefiner ett högt energiinnehåll vilket gör dem lämpliga för förbränning, för att få ut mycket energi. Däremot producerar förbränningen stora mängder koldioxid och andra flyktiga organiska föreningar,

som bland annat genereras vid förbränningen av tillsatser, så som bromerande flamskyddsmedel (Schade m. fl., 2024).

Det är svårt och kostsamt att separera blandade polyolefiner för mekanisk plaståtervinning, vilket gör förbränning till ett passande återvinningsalternativ. Det är viktigt att processen använder höga temperaturer och har ett reningssystem av gaser för att inte släppa ut några farliga avgaser. Samtidigt är det viktigt att metallinnehållen är låga vid förbränning då dessa avdunstar i processen och bildar en beläggning i ugnen (Swerea IVF, 2018).

Förbränning i cementugnar är ett alternativ av energiåtervinning för polyolefiner. Ugnarna kan hantera en stor varietet av material, där ibland blandade plaster. De kan även hantera metaller som aluminium. De höga temperaturerna på 1000 - 1800°C gör även att inga farliga ämnen kan frigöras (Swerea IVF, 2018).

4.2.2 Central dragavlastare (FRP)

Studien av Sharma m. fl. (2025) visar på att glasfiberarmerad plast (GFRP), vilket den centrala dragavlastaren består av, har möjlighet att återvinnas på flera sätt. Vid pyrolys kan polymermatrisen brytas ned och fibern utvinnas. Metoden resulterar dock idag i förkortade fiber på grund av värmen som produkten utsätts för, vilket endast gör fibern tillgänglig för bruk nedströms. Ett resultat av förkortade fiber efter utvinning är även gemensamt för återvinningsmetoden solvolys. Plasten omvandlas till enklare molekyler genom kemiska processer då polymerkedjorna bryts ned till monomerer eller andra mindre kolväten. Dessa kan sedan återpolymeriseras till nya plastprodukter, användas som kemikalier eller som drivmedel (RISE, u. å).

Mekanisk återvinning av FRP ger en resulterande produkt som fungerar bra för utfyllnadsmaterial inom cement. Cementblandningen får dock endast bestå av 10 procent FRP för att undvika försämrade mekaniska egenskaper och försvårad bearbetning hos cementen. Studien nämner även att implementeringen av återvunnen FRP signifikant förbättrar härdningsprocessen där risker som krympning, sprickor och frakturer minskar, vilket ökar produktens hållbarhet och termiska isolering. Det nämns även om en generell kostnadsbesparingen då behovet för nytt råmaterial minskar. Studien påstår även att processen har miljömässiga och ekonomiska fördelar jämfört med termiska återvinningsprocesser (De m. fl., 2024).

Enligt De m. fl. (2024) visar sig även energiförbränning vara en möjlig process för FRP. Vid energiförbränning är det dock svårt, men möjligt, att framställa termiskt stabila fibrer. Den återvunna fibern från energiförbränning kan endast användas nedströms. Processen beskrivs dock som kostnadseffektiv för kompositmaterial och att det för GRFP är frekvent använt vid förbränning i cementugnar då energin i plasten fungerar bra som bränsle på grund av dess förbränningsenergi.

Att FRP fungerar som utfyllnadsmaterial visar Menna m. fl. (2025) kring hur vindkraftsblad, uppbyggda av GFRP, kan användas för samma ändamål. I artikeln redovisas även en Livscykelanalys som indikerar på att användning av den fiberarmerade

plasten som utfyllnadsmaterial är bättre för miljön än deponi och förlänger produktens livslängd. Det visar sig även vara ekonomiskt hållbart vid tillräckligt stor skala. Menna m. fl. (2025) nämner även att samtidigt som plastinnehållet i produkten används som bränsle integreras glasfibern i cementklinkern vilket höjer de mekaniska egenskaperna hos produkten, optimalt vid 2-2,5 procent fiberinnehåll.

4.2.3 Optisk fiber

Studier och forskning har försökt hitta metoder som kan utvinna germanium, för att sedan kunna återanvändas som råvara i nyproduktion.

Chen m. fl. (2017) från National Cheng Kung University i Taiwan, har utforskat möjligheten att med hög återvinningsgrad utvinna germanium från fiberoptiskt avfall med hjälp av en hydrometallurgisk metod. Metoden, som är en urlakningsmetod, går ut på att utvinna metaller från primära eller sekundära resurskällor. Metoden har valts på grund av dess potential för att utvinna metaller från avfall och annat uttjänt material med en låg energikonsumtion (Tunsu & Retegan, 2016). Studiens process gick ut på att förbehandla, urlaka fibern och sedan utvinna germaniumet från kiseldioxiden genom lösningsmedel och skalning. I urlakningen användes en blandning av sulfat och fluorvätesyra. Som lösningsmedel i lösningsmedelsextraktionen användes Alamine 336, tributylfosfat samt vinsyra. I sista steget användes natriumhydroxid och efter det kunde germanium utvinnas som germaniumdioxid(GeO2) samt germaniumtetraklorid(GeCl4) (Chen m. fl., 2017).

Metoden utfördes med flera olika blandningar som lösningsmedel för att se vilken lösning som gav högst återvinningsgrad. Då ett lösningsmedel på 1,5 mol/L NaOH användes i processen för att utvinna germaniumet från Kiseldioxiden kunde en återvinningsgrad på 99,2 procent uppnås. Detta resulterade i så lite som 1 procent kiseldioxidrester. Germaniumet utvanns i form av germaniumdioxid (GeO2) samt germaniumtetraklorid (GeCl4) som sedan kunde användas inom nyproduktion. Restprodukten, Kiseldioxid förblev enligt Chen m. fl. (2017) kvar i raffineriet.

Chen m. fl. (2020) som forskat kring utvinning av Germanium från fiberoptiska kablar visar att de, via liknande metod, lyckats uppnå en återvinningsgrad av Germanium på upp till 90 procent.

I processen bryts kiseldioxiden ned till syntetisk amorf kiseldioxid (Chen m. fl., 2020). Detta är en mycket ren produkt men kan innehålla spår av tillsatser som använts under urlakningsprocessen. Syntetisk amorf kiseldioxid används som ett så kallat effektfyllmedel i nyproduktion, vilket innebär att det inte bara fyller ut volymen utan även påverkar materialets egenskaper (Rothon, 2017).

Shahlin m. fl. (2025) nämner möjligheterna av att använda återvunnet glas från bland annat fiberoptiska kablar som substitut för ren kiseldioxid och nämner flertalet fördelar. Artikeln utforskar hur återvunnet glas kan användas inom fiberoptisk teknologi för att främja en cirkulär ekonomi, specifikt genom att titta på materialegenskaper och hållbarhet. Artikeln nämner att återvunnet glas kan uppnå samma

optiska prestanda som ren kiseldioxid och nämner att minskad förbrukning av råmaterial leder till lägre energikonsumtion och lägre emitterande växthusgaser. Artikeln lyfter att utbyggnaden av fiberoptiska kablar kommer bidra till mer material som behöver hanteras och nämner tyngden i att hantera de som ett värdefullt material och inte bara avfall.

4.2.4 Återvinning i praktiken

Det finns flera företag internationellt som hanterar fiberoptiska kablar, både genom återvinning men även inom återtillverkning. Nedan presenteras några av dessa företag tillsammans med beskrivning av vad de gör.

The Climate Change Company har ett projekt, som de kallar ”Littar”, där de återvinner all typ av glas och plast och gör om det till ett material som ersätter traditionell asfalt. De har ett projekt tillsammans med Prysmian Group där de kan använda avfall från fiberoptiska kablar i Littar projektet (The Climate Change Company, u. å-a, u. å-b).

Recyfibre är ett företag som är verksamt inom hantering och forskning kring återvinning av optisk fiber. Företaget beskriver på deras hemsida att deras processer är enkla och effektiva. Processerna går ut på att samla in optiska fibrer, inspektera dem samt reparera de som går att räddas. Restaurerad fiber kan sedan användas på nytt i avancerade teknologier. De restaurerade optiska fibrerna säljs tillbaka till telekomföretag, vilket medför minskade kostnader och minimerar logistikproblem enligt företaget själva (RecyFibre, u. å).

Net Recycling, ett företag baserat i USA, återvinner fiberoptiska kablar. De har utvecklat ett patent Bacon Forrest Cleveland (2020) som beskriver en metod för att bearbeta och separera kärnan från claddingen i optiska fibrer, i syfte att tillgängliggöra germanium för enklare hantering och återvinning (Net Recycling, u. å).

Hill Metal Recycling från England skriver att de återvinner fiberoptiska kablar genom att bryta ned kabeln till dess grundläggande beståndsdelar vid en process där de tar bort kärnan från plasthöljet. Dessa kan sedan återvinnas separat till nya produkter (Hill Metal Recycling, u. å).

LD4 är ett amerikanskt företag som fokuserar på att återvinna material som normalt är svåra att återvinna, där ibland fiberoptiska kablar. På deras hemsida skriver de att de återvinner all typ av fiberoptiska kablar och även glaset. Deras mål är att undvika deponi och förbränning. De lyfter fram att fiberoptiska kablar kan ligga på deponi i decennier utan att brytas ned (LD4 Recycle, u. å).

Oceanic Environmental Cables GmbH (OEC) är ett tyskt företag som erbjuder bärgning och återvinning av utrangerade undervattenskablar. Företaget uppger att upp till 99 procent av materialen kan återvinnas och återföras till industrin som sekundära råvaror av hög kvalitet. Enligt OEC används automatiserade demonteringslinjer för att avlägsna kabelmantlar och separera olika materialfraktioner som

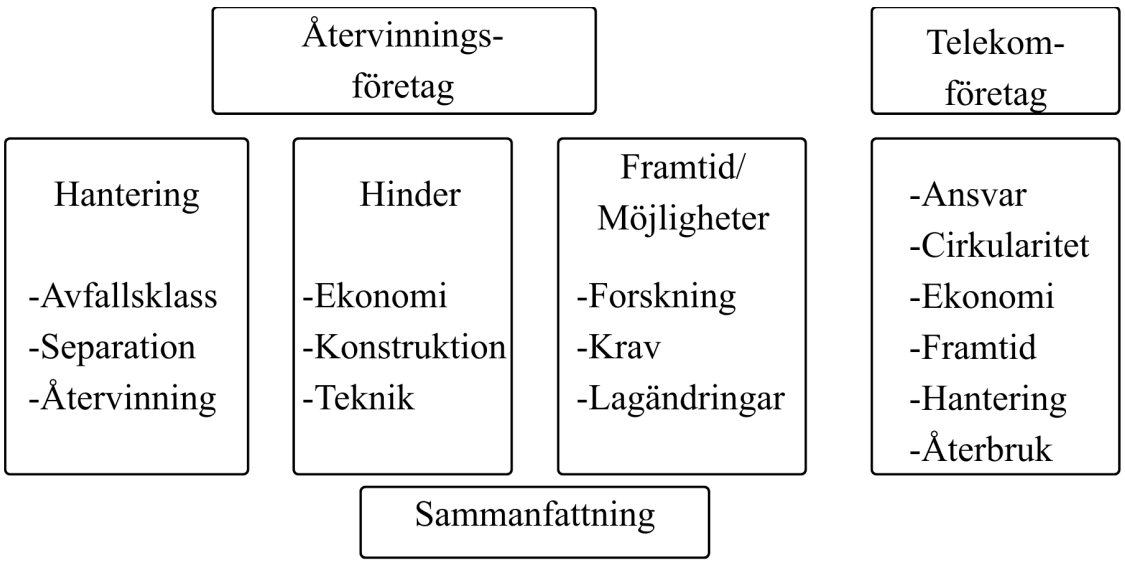
kan hantera både äldre telekablar och moderna fiberoptiska kablar, med en mycket låg avfallsmängd som kasseras. OEC beskriver sin metod som unik och patentansökt, men någon offentlig patentpublikation har inte kunnat identifieras (Oceanic Environmental Cables [OEC], u. å).

Umicore är ett belgiskt företag som är aktiva inom återvinning med fokus på hållbara och avancerade material. Företaget verkar globalt inom batterimaterial, katalysatorer, återvinning och specialmaterial. De skriver själva att de är pionjärer inom rening av germanium på kommersiell skala och att de erbjuder sina specialprodukter för högkrävande ändamål som semikonduktörer samt optik- och rymdindustrin. Umicore anger att de når renhetsgrader nära 100 procent men säljer även Germanium i flera olika stadier för att uppnå en cirkulär affärsmodell som ska uppnå hållbarhet genom bland annat sökbarhet och hög kvalitet (Umicore, u. å).

5

Resultat från intervjustudie

Resultatet från intervjustudien presenteras under två huvudkategorier: resultat från intervjustudie med återvinningsföretag respektive telekomföretag (se Figur 5.1). Intervjustudien med återvinningsföretagen är vidare uppdelad i fyra subkategorier: hantering, hinder och framtid/möjligheter för fiberoptiska kablar, vilka i sin tur innehåller ytterligare underkategorier samt en sammanfattning av resultatet. Intervjustudien med telekomföretag är uppdelad i följande teman: ansvar, cirkularitet, ekonomi, framtid, hantering, återbruk och en sammanfattning.



Figur 5.1: Upplägg av resultat från intervjustudien. (Författarnas egna bild).

5.1 Resultat från intervjustudie med återvinningsföretag

Detta avsnitt presenterar resultatet av intervjustudien med återvinningsföretag. Framställningen belyser centrala aspekter av hantering, hinder och framtid/möjligheter av fiberoptiska kablar.

5.1.1 Hantering

I detta avsnitt redovisas hur respondenterna beskriver hanteringen av fiberoptiska kablar.

5.1.1.1 Hanterar företaget fiberoptiska kablar?

Sammantaget undviker de flesta återvinningsföretagen att hantera fiberoptiska kablar medan andra får in mycket lite. Det nämns även hos de som får in kablarna att det ekonomiska intresset är lågt på grund av svårigheter att separera materialet i kablarna och kablarna hanteras därav oftast genom förbränning.

5.1.1.2 Hur separeras fiberoptiska kablar från övriga kablar?

Flera aktörer uppger att de fiberoptiska kablarna oftast redan är utsorterade innan de får in kablarna. Vissa utför dock en extra okulär inspektion och med manuell handkraft separerar ut fiberkablarna om det har kommit med något, för att sedan skicka dem till förbränning. Det kan i vissa fall ske att en fiberkabel missas och åker in i återvinningen tillsammans med övriga kablar.

5.1.1.3 Vilken avfallsklass tilldelas fiberoptiska kablar hos aktörerna?

Här ger aktörerna lite blandade svar. Vissa menar att fiberoptiska kablar inte är farligt avfall medan andra menar att det är det. Respondent 4 uppger att fiberkablar inte klassas som farligt avfall eftersom ytterskiktet inte innehåller några farliga ämnen. Vid frågan om det underlättar vid återvinningsprocessen om ett producentblad bifogas med kablarna svarar respondent 2 ”Om man får med ett datablad så har vi en helt annan möjlighet att återvinna. Problemet är nu att vi får det väldigt mixat och vi vet egentligen inte vad det är vi får in”. Respondent 5 uppger dessutom att de inte kan säkerställa att allting kommer från Sverige. Respondent 3 påpekar att Sveriges strikta tolkning av EU-reglerna för avfallshantering skapar hinder för återvinning. Det gör återvinningen mindre attraktivt jämfört med för andra länder. Respondent 5 uppger att farligt avfall (FA)-klassningen har stoppat samarbeten med utländska återvinnare. Det har skapat problem vid återvinning av plaster då de inte kan exportera material med FA-klassning.

5.1.1.4 Hur separeras materialet i kablarna som aktörerna hanterar?

Samtliga respondenter nämner att materialet i kablarna separeras med mekanisk separation. Respondent 5 beskriver processen som att kablarna mals ner i två steg i granulatorer för att minska värmebildning. Sedan filtreras metaller och plaster från varandra med hjälp av densitetsskillnader i materialen, luftutsug och vibrationer. Processen är inställd för att separera metallerna från plasterna i kablar. Respondent 5 menar att om en fiberoptisk kabel kommer med i processen blir glasfibern till filterstoft. Respondent 5 och respondent 2 anser att om man finjusterar inställningarna för att passa en fiberoptisk kabel hade glaset kunnat separeras från plasten. Respondent 2 säger dock att det kan variera beroende på vilken sorts plast man har då det bygger på densitetskillnaderna. Respondent 5 uppger att man inte kan

blanda kablar med metaller i och fiberoptiska kablar om man vill få ut alla material separat, då inställningarna skiljer sig åt. Separata processer skulle krävas för att optimera utvinningen.

5.1.1.5 Återvinns plasten från kablarna?

Respondent 3 menar att eftersom kablar klassas som farligt avfall i Sverige blir återvinning av plasterna svårt. När metallerna har sorterats ut från plasterna anses de som rena och därmed inte farligt avfall. Därav måste resterande produkter, alltså plasterna, vara farligt avfall. Det sätter stora begränsningar på vad man får göra med plasten och respondenter säger att ”I Sverige är det i princip omöjligt att göra någonting annat än att elda upp dem och då får återvinningsföretagen betala värmeverken för att elda upp dem”. Respondent 3 fortsätter och beskriver att detta skiljer sig från övriga länder i Europa där de inte har tolkat EU-direktiven lika strikt som Sverige. Jämför man med andra länder i EU kan de sälja plasten som råvara istället.

Respondent 5 beskriver, likt respondent 3, att FA-klassningen har skapat hinder för återvinning av plasterna. Respondent 5 fortsätter att beskriva att plasten tidigare har gått till återvinning eller förbränning men för tillfället sparas i väntan på nya avsättningskanaler.

Andra respondenter uppger att plasten återvinns om det är möjligt. Respondent 2 förklarar att PVC plasten kan gå till konor eller staketfötter och att de även har testat att samarbeta med ett företag där de har använt återvunnen PE och PEX från kablar, till nya produkter. Respondenten förklarar även att glasfiberkompositer idag går till cementindustrin där plasten används som energi och glaset nyttjas som råvara.

5.1.2 Hinder

I denna del av intervjuerna diskuteras möjliga hinder som återvinningsaktörerna möter vid hantering av fiberoptiska kablar.

5.1.2.1 Vad ser företagen som det största hindret för fiberoptiska kablar idag?

Majoriteten av respondenterna nämner att det är den ekonomiska aspekten som hindrar fiberoptisk kabel från att återvinnas idag. Det finns enligt respondenterna ingen drivkraft till att gräva upp kabeln och hantera den vilket respondent 4 styrker genom att säga att ”det är ingen som bryr sig om att plocka upp kablarna, för de har inget värde”.

Respondent 3 nämner att företaget fokuserar på material som de kan betala för att ta emot och att fiberoptiska kablar inte ingår i den kategorin. Respondent 4 ser även volymen och tekniken som ett av de större problemen och menar att det inte finns någon drivkraft för att investera i återvinning gällande fiberoptisk kabel. Respondent 2 nämner även information som det största hindret och påpekar att

Naturvårdsverkets tolkning av EU-direktiven har ej varit resonabla. Respondent 3 påpekar att för mycket regler och riktlinjer kan påverka mängden material som återvinns vilket kan anses negativt, men menar också att utan regler och riktlinjer kan problem uppstå.

5.1.2.2 Varför tror företagen att så lite fiberoptisk kabel återvinns idag?

Respondent 4 anser att det bristande ekonomiska andrahandsvärdet på kablarna gör att de ofta ligger kvar i marken. Respondent 4 menar vidare att de små volymer som samlas in ej är lönsamma att återvinna. Resterande respondenter har samma synvinkel men där respondent 1 även nämner att subventioner eller högre deponikostnader skulle kunna förbättra situationen. Respondent 5 drar kopplingar mellan pantsystemet för PET-flaskor och att det eventuellt hade fungerat för återvinning av fiberoptiska och därmed skapa incitament för insamling.

5.1.3 Framtid och möjligheter

För att få en förståelse för återvinningsaktörernas incitament och forskning diskuterades även ämnet framtid och möjligheter där respondenterna fritt fick tilläga information.

5.1.3.1 Har företagen någon forskning inom ämnet idag?

Respondent 1 menar att forskning pågår för vindkraftverk men inte specifikt för fiberoptiska kablar. Respondent 2 har tidigare forskat kring kemisk återvinning och nämner att processen använts för att återvinna plasten på en svenskproducerad kabel med PEX-mantel. Respondent 2 fortsätter att beskriva hur de skickar plasten från granulerade kablar till en pyrolysanläggning som använder pyrolysoljan till att tillverka flygbränsle. Dock påpekar respondent 2 att pyrolysanläggningar ej fungerar så bra idag men att det på pappret är en bra metod. Vid diskussion kring andra kemiska återvinningsmetoder nämner även respondent 2 att solvolys som återvinningsmetod ej är kommersiellt hållbart än och att mycket forskning kan se lovande ut men ofta blir dyrt vid uppstart. Respondent 4 nämner att de ej bedriver någon forskning specifikt för fiberoptiska kablar. Respondent 4 uppger att deras forskning är inriktad mot EU:s kritiska råvarumaterial men menar att den forskning inte innefattar Germanium även fast den finns med på listan. Gällande Germanium svarar respondent 2 att de inte känner till Germanium som råvara särskilt bra men nämner efter förklaring att det kan vara intressant beroende på hur mycket fiber det finns i Sverige.

5.1.3.2 Ser företagen en framtid inom återvinning av fiberoptiska kablar?

Respondent 5 inleder med att förklara hur deras verksamhet i dagsläget inte har några konkreta planer kring fiberoptisk kabel då deras fokus ligger på metallåtervinning. Respondent 1 nämner att fiberoptisk kabel är en så liten fraktion av deras verksamhet och att inga konkreta mål eller planer finns. Respondent 5 nämner att

teknikutveckling och ekonomiska incitament skulle göra återvinning av fiberoptiska kablar mer attraktivt. Även att lagstiftning och harmonisering inom EU är avgörande för att underlätta återvinning. Respondent 4 menar att om det uppstår en efterfrågan på återvunnet fiberoptiskt material så kan det motivera investeringar men att det i dagsläget är för små volymer.

5.1.3.3 Vad anser företagen krävs för att öka återvinningsgraden?

Respondenterna uppger att de saknar den tekniska kunskapen kring fiberoptiska kablar för att svara kring specifika designförändringar men respondent 1 anger att tekniska förändringar i kabelkonstruktionen skulle kunna underlätta återvinningen och anger användandet av PEX-plast som ett hinder som kan tas bort. Respondent 1 fortsätter dock beskriva att detta skulle påverka kabelns tekniska egenskaper och menar att fokus ligger på att möjliggöra att återvinning för fiberoptiska kablar blir ekonomiskt hållbart.

5.1.3.4 Är det något mer ni vill tillägga om hantering av fiberoptisk kabel?

Respondent 3 berättar att logistiken finns på plats och att de har ett väl fungerande insamlings- och sorteringsnätverk på plats. Respondent 3 påstår att om en ekonomiskt hållbar metod för fiberoptiska kablar skulle finnas hade det varit möjligt att integrera dessa kablar i det befintliga återvinningsflödet. Respondent 4 betonar att mängden och efterfrågan är avgörande för att återvinning av fiberoptiska kablar ska bli aktuellt. Respondent 4 avslutar med att påpeka att utan ekonomiskt värde eller större mängder kommer fiberoptiska kablar fortsätta hanteras som avfall med låg prioritet.

5.1.4 Sammanfattning

Sammanfattningsvis anger respondenterna att den låga volymen samt de tekniska och juridiska hindren påverkar hanteringen av fiberoptiska kablar. Respondenterna uppger ett fåtal möjliga hanteringsmetoder där granulering anses vara den mest passande återvinningsmetoden i dagsläget.

Respondenterna anser kollektivt att de låga andrahandsvärdet av fiberoptiska kablar bidrar till att de finns få incitament till återbruk och återvinning. Det nämns även att respondent 2 tycker att tolkningen av EU-direktiven ej har varit resonabel vilket skapar hinder för återvinningsaktörerna.

Det framgår att det endast är ett fåtal av respondenterna som forskat kring end-of-life-hantering av fiberoptiska kablar men metoder som pyrolys och granulering nämns. Respondenterna drar även kopplingar till andra produkter, bland annat bladen från vindkraftverk, som skulle kunna vara aktuellt för ämnet. För framtida hantering tror respondenterna att vissa förändringar krävs där pantsystem, tekniska förändringar och möjligheter till ekonomisk hållbarhet nämns som möjliga förslag.

5.2 Resultat från intervju med telekomföretag

Detta avsnitt presenterar resultatet av intervjustudien med telekomföretaget. Framställningen belyser centrala aspekter kring ansvar, cirkularitet, ekonomi, framtid, hantering och återbruk.

5.2.1 Hanteras eller brukas äldre kablar?

Respondenten nämner att kostnaden för att installera kabel är dyr och att livslängden på kabeln förväntas hålla i minst 40 år. Respondenten menar att de kablarna som började läggas i den stora utbyggnaden 1985 börjar bli gamla och nya kablar installeras och används istället. Respondenten påpekar att det inte är något fel på de äldre kablarna utan att det är tekniken som sprungit iväg. Respondenten menar även att det är kunderna som ställer höga krav på de fiberoptiska kablarnas prestanda och att det försvårar uthyrningen av äldre kablar.

5.2.2 Återbruk av befintlig infrastruktur

Kring frågan om de befintliga kablarna som inte längre hyrs ut fortfarande används till något svarar respondenten att de inom företaget använder dem själva. Respondenten påpekar att det inte är något fel på kablarna och att man med rätt utrustning använder dem till sina egna förbindelser. Respondenten nämner även att signalbehandlingsenheterna som används för fiberoptiska kablar idag justerar sig själva efter kabelns prestanda.

5.2.3 Ansvar och policy

Respondenten nämner att företaget följer strikta miljöpolicys vid hantering av kablar och att kontrakterade ”entreprenörer får ut containrar med flera fack och så ska de sorteras innan det skickas in, mestadels för att få tag i metallerna som de får betalt för”. Gällande inköp av produkter nämner respondenten att de inte köper in vad som helst och att de sätter krav på hur kablarna har tillverkats ur miljösynpunkter men även etiska punkter. Respondenten menar även att när de köpt kabeln så läggs ansvaret för kabeln hos dem och att detta påverkar varför de är strikta vid inköp.

Vid inköp av kabel berättar respondenten att de kräver dämpningsmätningar på kablarna av leverantör samt att sökbarheten säkerställs av att de vet exakt vart i nätet som kablarna installeras och avslutar med att säga att ”vi har koll på allt vi har köpt”. Under intervjun nämns de att datablad kan vara svårt att få tag ifrån utländska aktörer men respondenten menar att de jobbar hårt med sökbarheten sen tidigt 90-tal för att få saker återvinningsbart och därmed undvika miljöfarliga ämnen i deras produkter. Respondenten nämner även att deras goda sökbarhet är en del av deras självbevarelsedrift. Om något går fel vill de kunna reklamera kablarna till producenten.

5.2.4 Cirkularitet och ekonomi

Gällande cirkularitet nämner respondenten vikten av att installera kablar i kanalisationer. Detta medger nämligen möjligheten att byta ut eller laga kabel utan att behöva förstöra hela anläggningen vilket enligt respondenten är ett problem som kan uppstå. Respondenten beskriver att kablar som är lagda utan kanalisation, så kallat direktförlagd kabel, kommer att ligga kvar i marken då det innefattar för stora kostnader att gräva upp de och nämner även att de inte har någon massupptagning av fiberoptisk kabel. Den fiberoptiska kabeln som grävs upp, bland annat vid omläggning av struktur, skickas vidare till återvinningsaktörer som eldar upp dem, då de ej innehar något värde. Respondenten nämner att av ekonomiska skäl vill de behålla kablarna i marken så länge det går.

Vid frågor om återanvändning för tillfälliga installationer och DFOS menar respondenten att de just på fibersidan inte återanvänder något då det kräver för stora resurser för att säkerställa att det fungerar och att det medför en för stor risk. Det nämns dock att man vid exempelvis krig skulle kunna gå in och hämta patch/anslutningskabel och chansa på att de fungerar men respondenten lägger tyngd i att man föredrar nya kablar.

Respondenten påpekar även att den mesta kabeln som byts ut är skadad kabel och att detta vanligtvis sker i samband med renovation av hus eller att grävskopan har fått tag i kabeln. Detta medför att de inte längre kan använda kablarna då de ej kan säkerställa prestanda.

5.2.5 Framtid

Respondenten nämner att de tittat på möjligheter gällande återvinning av fiberoptisk kabel och att en möjlig lösning skulle vara att bunta ihop patch/anslutningskablar för att använda som bränsle. Kablarna ska vara väldigt bra att elda och respondenten menar att detta skulle gynna värmeverken. Respondenten nämner även att de lagt ned mycket tid tillsammans med stora återvinningsaktörer inom Sverige för att bevisa vilka kablar som är FA och vilka som är IFA. Men att detta fokus mest riktat in sig på kopparkabel.

5.2.6 Sammanfattning

Respondenten beskriver att telekomföretaget har god koll och sökbarhet på vilka produkter de köper in, installerar, hyr ut och själva brukar. Respondenten nämner att höga krav ställs på kabelprestanda men även på produktionens tillvägagångssätt. Respondenten menar även att det inte är något fel på äldre kablar och att dessa används inom företaget, då kunder endast vill hyra nyare kablar med högre utlovad prestanda. Respondenten nämner att kabel installerad med kanalisation underlättar cirkulärt arbete och nämner även att moderna signalmottagare justerar sig själva efter kabelns aktuella prestanda. Gällande framtiden anger respondenten att forskning utförts för möjligheter av fiberoptisk kabel där en spekulerande metod kring värmeverksbränsle nämns.

6

Analys

Analysen är uppdelad i fem delar. Analys av litteraturstudien respektive intervjustudien, sammanvävd analys, potentiella återbruks- och återvinningsflöden samt validitet och reliabilitet. I analysen av litteratur- och intervjustudie analyseras resultatet från de olika studierna. I den sammanvävda analysen analyseras och diskuteras gapet mellan teori och nuläge. Avsnittet kring potentiella återbruks- och återvinningsflöden beskriver och illustrerar möjliga tillvägagångssätt för återvinning. Validitet och reliabilitetsavsnittet analyserar varför studien är eller icke är trovärdig.

6.1 Litteraturstudie

I analys av litteraturstudien analyseras och diskuteras litteraturstudiens resultat och kopplas till teoretiska referensramen.

6.1.1 Återbruk

Från litteraturstudien identifierades DFOS och LDSP som två potentiella återbruksmetoder. DFOS kan enligt Ip m. fl. (2022) implementeras i befintlig fiberoptisk infrastruktur där kablar, som annars inte längre är attraktiva för aktörer med höga prestandakrav, kan återanvändas. Tekniken kan skapa nya användningsområden och intäktskällor för telekomföretag. Ett hinder med tekniken är att signalförstärkare i långdistansnät ofta endast tillåter en riktning av ljuset, vilket kan stoppa tillbakaspridningen av ljus. Därav kan det krävas att omkonstruera signalförstärkarna för att få tekniken att fungera över långdistansnäten. Vid framtida utbyggnad av fiberoptisk infrastruktur kan det även vara strategiskt att samförlägga kablar med exempelvis vägar, broar eller rörledningar, vilket ger möjlighet att upptäcka och förebygga fel i ett tidigt skede.

Även fast LDSP inte går inom ramen för klassiskt återbruk skulle metoden ändå kunna bidra till en förlängd livslängd och förbättrad prestanda på redan installerade fiberoptiska kablar. Eftersom arkitekturen är relativt ny inom signalbehandling för fiberoptik är de långsiktiga och fullständiga effekterna av att implementera den i befintlig infrastruktur ännu inte helt klarlagda. Däremot visar Pryamikov (2024) på flera potentiella fördelar, såsom förbättrad signalkvalitet, kostnadseffektiv implementering och bred tillämpningsbarhet.

Ett ytterligare potentiellt område för återbruk utgörs av fiberoptiska kablar som uppkommer som överskottsmaterial vid byggprojekt eller i samband med ombyggnation av befintlig infrastruktur. Dessa kablar klassificeras ofta som uttjänta, trots att deras funktion inte nödvändigtvis är nedsatt. Samtidigt innebär återbruk flera tekniska utmaningar, särskilt kopplade till osäkerheter kring prestanda, livslängd och tillförlitlighet. För att möjliggöra återbruk krävs därför metoder för kvalitetssäkring, där exempelvis OTDR i kombination med visuell inspektion kan användas (FOA, u. å-d). Dock kvarstår frågan om dessa metoder är tillräckliga för att säkerställa långsiktig driftsäkerhet, vilket kan begränsa användningen till mindre kritiska tillämpningar, såsom temporära installationer.

Utöver att kvalitetssäkra kablar som har varit i bruk kan dessa även återtillverkas. RecyFibre (u. å) beskriver att de inspekterar och reparerar optisk fiber, vilket visar på att det går att förlänga fiberoptiska kablars liv efter de har varit i bruk, där de restaurerade kablarna kan användas på nytt.

6.1.2 Återvinning

Litteraturstudien identifierade flera möjliga metoder för återvinning av fiberoptiska kablar. Inledningsvis låg fokus på återvinning av hela kablar, vilket resulterade i ett begränsat antal träffar. En möjlig förklaring till detta är att forskningen inom området är relativt begränsad, vilket kan bero på den komplexa materialuppbyggnaden hos fiberoptiska kablar och ett saknat ekonomiskt intresse. Fiberoptiska kablar är uppbyggda av både glas- och plastkomponenter som är starkt integrerade med varandra. Konstruktionen kan i många avseenden liknas vid en glasfiberkomposit enligt De m. fl. (2024), vilket har visat sig innebära betydande utmaningar vid återvinning. Mycket forskning utförs gällande återvinning av glasfiberkompositer, bland annat för att ta hand om stora strömmar av end-of-life vindturbinblad, fritidsbåtar och produktionsavfall. Projektet Recomp, utfört 2019-2022, koordinerat av Research Institutes of Sweden AB (RISE), bedömde att kemisk återvinning av sådana produkter behöver utvecklas vidare och kommer inte att implementeras i närstående tid (Vinnova, 2022).

L-FIRE projektet av EU (2011) visade att materialkombinationen i fiberkablar, där bland annat gelen i tuberna ingår, försvårar granulering eftersom materialfraktionerna inte kan separeras effektivt. En föreslagen lösning var att istället separera materialen stegvis. Samtidigt genomfördes projektet under perioden 2005–2007, vilket gör det svårt att avgöra om resultaten fortfarande är giltiga med dagens tekniker och metoder.

Studien av Pringsakul m. fl. (2023) visar att pyrolys kan användas för att bryta ned plasterna i fiberkabeln till pyrolysolja, vilket senare kan användas som alternativt bränsle. Glaset från den optiska fibern och dragavlastaren, den fasta biprodukt som genereras vid pyrolysen, hade potentiellt kunnat gå till germaniumutvinning för att ta tillvara på det kritiska råvarumaterialet germanium. Alternativt hade glaset enligt Menna m. fl. (2025) kunnat återanvändas som fyllnadsmaterial i cement vilket har

visats vara möjligt för glasfiberkompositer. Dessa två alternativ hade dock behövt verifieras för att säkerställa att de är genomförbara.

Efter genomförd materialseparation, möjligtvis genom granulering i samband med gel-lösningsmedel, visar resultatet enligt EU (2011) att möjliga återvinningsvägar finns för respektive materialkomponent. För plasterna i manteln bör man eftersträva att maximera antalet mekaniska återvinningscykler. Det bör dock beaktas att renheten på den plasten som kommer in i flödet är avgörande för kvaliteten på den återvunna plasten (Schyns & Shaver, 2021). Därav krävs noggrann sortering av plasterna innan återvinning. Ett alternativ skulle vara att enbart granulera samma sorts kabel vid varje tillfälle för att få ut en enhetlig plastmängd. Införandet av striktare standarder och regler för tillåtna tillsatser i kabelmantlar och för konstruktionen av fiberkablar skulle även det kunna förbättra återvinningsmöjligheterna, genom att minska materialvariation och underlätta materialseparation.

När det inte längre är tekniskt möjligt att använda mekanisk återvinning är kemisk återvinning ett bra komplement. Kemisk återvinning återställer materialet och för tillbaka det in i kretsloppet. Det är dock en energikrävande och kostsam metod, vilket begränsar dess användning. Energiåtervinning, trots att det används till stor del idag, bör beaktas som en sista utväg för material som ej är återvinningsbart. Vid förbränning går materialet ut ur kretsloppet och omvandlas till energi och släpper samtidigt ut stora mängder växthusgaser (Schade m. fl., 2024).

Dragavlastaren, som består av FRP, kan återvinnas, likt plasten i manteln, genom mekanisk återvinnig, kemisk återvinnig och energiåtervinning. Däremot finns det skillnader i metoderna. Med mekanisk återvinnig kan materialet återanvändas som utfyllnadsmaterial, exempelvis i cement. Som utfyllnadsmaterial i cement bidrar FRP:n till att förbättra bland annat de mekaniska egenskaperna men samtidigt kan endast 10 procent FRP användas utan att försvåra bearbetningen och försämra de mekaniska egenskaperna. En nackdel med mekanisk återvinning är säkerhets- och hälsorisker vid malningsprocesser, där stora mängder fint pulver och små fiberpartiklar kan bildas och i vissa fall antändas (De m. fl., 2024). En annan nackdel med mekanisk återvinning av FRP är att materialet går nedströms, vilket innebär att materialet får ett lägre värde och sämre egenskaper vid efterföljande användning.

Kemisk återvinning av dragavlastaren är likt de som beskrivs under kemisk återvinning av plaster. Nackdelen med kemisk återvinning av FRP är att det är mer kostsamt och energikrävande än mekanisk återvinning. Dessutom kan kemisk återvinning, i form av solvolys, använda kemikalier vilket sätter restriktioner för användning på kommersiell skala. Däremot möjliggör kemisk återvinning att materialets beståndsdelar kan återvinnas, snarare än att enbart energi utvinns eller att hela materialet går nedströms. En kvarstående utmaning är enligt De m. fl. (2024) dock att fiberns kvalitet ofta försämras vid nuvarande processer.

Energiåtervinning anses som ett kostnadseffektivt alternativ för kompositavfall. Däremot medför detta miljöföroreningar och att den återvunna fibern endast kan användas i nedgraderade tillämpningar. I cementugnar används FRP som ett alternativt

bränsle där plasten bidrar med energi, samtidigt som fibrerna tas tillvara som råmaterial i klinkern. Processen hade kunnat beskrivas som en kombinerad energi- och materialåtervinning. Ingen av de tre återvinningsmetoderna, mekanisk, kemisk och energiåtervinning för FRP är perfekt och mycket forskning går in i att hitta bättre återvinningsalternativ och att utveckla polymermatriser som är ombearbetningsbara och omformbara. De m. fl. (2024) besrkiver att det inte heller någon av metoderna som är ekonomisk hållbara.

I tabell 6.1 klassificeras olika återvinningsmetoder för fiberoptiska kablar utifrån en kombinerad analys av hur vanliga plaster i plastavfall och glasfiberkompositer återvinns. Analysen baseras på två översiktsartiklar av De m. fl. (2024) och Schade m. fl. (2024) som behandlar respektive materialkategori och redogör för- och nackdelar med mekanisk, kemisk och energiåtervinning. Dessa resultat har vidare kompletterats med insikter från intervjuer. Metoderna jämförs och rangordnas utifrån kostnad, energibehov, miljöpåverkan och försortering, på en skala från låg till hög.

Tabell 6.1: Jämförelse mellan olika återvinningsmetoder.

	Mekanisk återvinning	**Kemisk återvinning**	**Energiåtervinning**
Kostnad	Låg-medel	Hög	Låg
Energi	Låg	Hög	Medel-hög
Miljöpåverkan	Låg-medel	Medel*	Hög
Försortering**	Hög	Medel	Låg

* Beror på vilken process och vilka kemikalier som används.
** Hög försortering syftar på att materialet behöver sorteras mycket, medan låg syftar på att nästan ingen eller ingen försortering krävs.

Mekanisk återvinning syftar på granulering och separation av material. Processen är relativt billig och energisnål, med en relativt låg miljöpåverkan men processen begränsas av dess höga krav på försortering. Fördelen med kemisk återvinning är att materialet återinförs in i kretsloppet medan nackdelen är att det har en hög kostnad och är en energikrävande process. Till skillnad från mekanisk återvinning behöver inte materialet sorteras lika väl innan kemisk återvinning. Energiåtervinning är det billigaste alternativet och processen kan ta in en stor variation av blandande plaster. Processen ger dock höga utsläpp och materialet förloras och går ut ur kretsloppet, vilket inte är önskvärt i ett cirkulärt flöde.

Sammanfattningsvis kan metoderna klassas i en hierarki där man främst bör eftersträva så många mekaniska återvinningsprocesser som möjligt, för att sedan återvinna via kemisk återvinning för att nollställa materialet. Energiåtervinning bör endast ses som en sista utväg då materialet inte längre anses vara återvinningsbart.

Den hydrometallurgiska metoden som beskrivits kring utvinning av germanium har valts på grund av dess förmåga att utvinna germanium från produkter i väldigt höga renhetsgrader. Metoden, som består av flera steg, går ut på att lösa upp och utvinna metaller ur material med hjälp av kemiska lösningar (Chen m. fl., 2017). Metoden använder under processen kemikalier som kan ge flytande avfall vilket måste

behandlas på korrekt sätt för att inte påverka miljön negativt. Metoden fungerar dock väldigt bra för komplexa material och kan med en lägre energiförbrukning än smältning utvinna material med hög renhetsgrad. Industriellt används metoden idag i stor skala inom gruvindustri och återvinning vid hantering av koppar, guld och elektronikavfall. Dock utforskas konstant ny teknik och metoden är därmed både en etablerad teknik och ett aktivt forskningsområde.

Återvinning av glasfibern kan i framtiden bli extra intressant då germanium innefattas av EU-förordningen om kritiska råmaterial (CRMA). Förordningen syftar till att skapa en mer motståndskraftig och hållbar leveranskedja för att säkerställa den gröna omställningen (Europeiska unionen, 2024). I och med att metallen är kritisk är återvinning , av denna i intresse, trots att den endast utgör en bråkdel av hela kabeln.

6.1.3 Återvinning i praktiken

En alternativ återvinningsmetod för fiberoptiska kablar presenteras i projektet Littar av The Climate Change Company (u. å-a), där de återvinner fiberoptiska kablar i samarbete med Prysmian Group genom att återinföra materialet från fiberkablarna i asfalt. Att hitta alternativa återvinningsmetoder, både för hela kablar men även för materialkomponenterna kan vara ett avgörande steg för att nå ett helt cirkulärt flöde för fiberoptiska kablar.

Flera av de företagen som nämndes i resultatet beskriver på deras webbsidor att de återvinner fiberoptiska kablar. Det kan dock ifrågasättas på vilket sätt och till vilken grad. Informationen från deras internetsidor har inte kunna faktagranskats då det saknas vetenskapliga artiklar eller patent som beskriver metoder för återvinning av hela kablar eller produktutbyte och dess kvalitet. I patentet av Bacon Forrest Cleveland (2020) beskrivs en metod för att bearbeta och separera kärnan från claddingen i optiska fibrer, i syfte att tillgängliggöra germanium för enklare hantering och återvinning. Det ger dock ingen tydlig bild på hur de faktiskt separerar materialen i kablarna.

Oceanic Environmental Cables GmbH:s (OEC) hemsida ger initialt ett positivt intryck. De uppger bland annat att de kan återvinna 99 procent av de kablar de hanterar, där de använder automatiska demonteringslinjer för att avlägsna kabelmantlar och separera materialfraktioner. Samtidigt är det tydligt att företagets beskrivning främst fokuserar på återvinning av metaller och plastmaterial, såsom koppar, aluminium, stål samt olika polymerer, vilka kan återföras till industrin med hög renhet. Däremot ges ingen tydlig beskrivning av hur den optiska fibern återvinns. De anger även att deras metod patentsöktes 2021, men någon offentlig patentpublikation har inte kunnat identifieras (OEC, u. å). Detta framstår som anmärkningsvärt, eftersom patentansökningar normalt offentliggörs cirka 18 månader efter inlämning. Det kan dock inte uteslutas att ansökan har dragits tillbaka, publicerats under annan benämning eller av annan anledning är svår att identifiera.

6.2 Analys av intervjustudie

Intervjustudien genererade flera värdefulla insikter och perspektiv kring hur fiberoptiska kablar hanteras inom Sverige idag. De 6 respondenterna som intervjuades gav svar som skapade mönster kring vilken typ av information som företagen sitter på i dagsläget. Samtliga frågor som ställdes under intervjustudien besvarades liknande av företagen men variation förekom. Den största variationen fanns inte i hur kablarna hanterades utan hur man såg på framtiden och möjligheter kring fiberoptiska kablar. I detta stycke kommer intervjustudiens resultat att analyseras och granskas genom jämförande analys kring de olika respondenternas svar.

Klassificeringen av fiberoptiska kablar men även kablar överlag har enligt respondenterna motverkat svenska återvinningsaktörer sedan årsskiftet 2025/2026. Naturvårdsverkets tolkning av EU-direktiven nämns som ej resonabla och tidigare befintlig infrastruktur har till viss del behövt pausas under obestämd tid då en FA-klassificering försvårar export av produkter. Detta sätter svenska återvinningsaktörer i bakkant jämfört med internationella aktörer, även inom EU, vilket försvårar möjligheten för svenska återvinningsaktörer att konkurrera internationellt.

Respondent 3 påpekar att för mycket regler och riktlinjer kring återvinning kan hämma den mängd avfall som faktiskt hanteras. Detta skulle i sin tur minska cirkulariteten i Sverige men menar även att för lite regler och riktlinjer också kan leda till problem. Vad som framkommer under intervjustudien är att företagen ej gillar direktiv som försvårar deras arbete. Vad som även framgår är att Naturvårdsverket tolkat EU-direktiven utifrån ett objektivt sätt där kablar historiskt innehållit miljöfarliga ämnen. Ett krav på bevis kring vilka kablar man återvinner kan utifrån ett miljömässigt perspektiv därmed ses som rimligt. Naturvårdsverkets idé kring hur EU-direktiven tolkas är därmed välgrundad. Samtidigt säger respondent 2 att ”vi får in kablarna helt mixat och vet egentligen inte ens vad vi får in” vilket kan indikera på att regelverket i praktiken kan försvåra återvinningen snarare än att förbättra den.

Under intervjustudien framhåller dock telekomrespondenten en annan bild. Denne menar att de har god kontroll över vilka produkter de hanterar och beskriver samarbetet med återvinningsaktörer som väl fungerande. Att aktörerna har skilda uppfattningar kan delvis förklaras av att det inte enbart är telekombolag som återvinner kablar, utan även andra företag och mindre entreprenörer. Dessa kan antas ha en mer varierande koll på produkterna de hanterar, vilket bidrar till osäkerheter i klassificeringen. I detta sammanhang finns Selcable, vars syfte är att främja branschens gemensamma intressen, som försökt få naturvårdsverket att se över klassificeringen av kabel. Som ett stöd har de tagit fram en lista över vilka kablar som bör klassificeras som FA respektive IFA. Denna lista är dock inte juridiskt bindande och kan därför inte användas som grund för beslut av återvinningsföretag. Enligt gällande avfallsregler ligger ansvaret för klassificeringen på den aktör som hanterar avfallet, vilket innebär att företagen själva måste kunna styrka sin bedömning (Naturvårdsverket, 2021).

Respondenterna gav samtliga indikation på osäkerheten kring den volym fiberoptiska kablar som finns att hantera i Sverige. De menar att en viss volym och efterfrågan måste finnas för att skapa en infrastruktur som kan hantera avfallet. De nämns att ett fåtal av respondenterna utforskat möjliga återvinningsvägar för fiberoptiska kablar eller delvis liknande produkter och att det finns lovande metoder, exempelvis gällande pyrolys och solvolys. Respondent 2 nämner dock att uppstarten av sådana projekt ofta är väldigt kostsamma och att metoderna idag inte är så lönsamma som de beskrivs på papper vilket gör dem kommersiellt ohållbara. Kollektivt nämner respondenterna att energiförbränning är den metod som främst används för hantering av fiberoptiska kablar. Mekanisk separation, såsom granulering, används också men detta sker oftast av misstag då fiberoptiska kablar hamnar tillsammans med elkraftskablar. Respondenterna nämner dock att granuleringsprocessen kan ställas in och finjusteras vilket indikerar på att granulering kan vara en passande återvinningsmetod för fiberoptiska kablar. Fiberoptiska kablar som bränsle i cementugnar samt vid produktion av alternativt bränsle, med hjälp av kemiska processer, nämns av respondent 2 också som aktuella metoder för fiberoptiska kablar på grund av att manteln har ett högt energiinnehåll.

I dagsläget saknas ekonomiska incitament till återvinning av fiberoptiska kablar då komponenterna erhåller ett lågt andrahandsvärde på marknaden. Respondent 5 nämner att subventioner kan vara givande för skapandet av infrastrukturen för återvinning och hantering av fiberoptiska kablar. Respondent 1 påpekar att ett pantsystem likt PET-flaskor skulle vara av intresse. Dessa metoder skulle skapa en efterfrågan på en lösning för dagens problem och möjliggöra ett cirkulärt flöde.

Under intervjustudien framgår det tydligt att fokus läggs på andra kablar såsom elkraftskablar även om frågorna är baserade på fiberoptiska kablar. EU-förordningen kring kritiska råmaterial nämns under intervjun, men ingenting kring germanium. Det är underförstått att fokus ligger på aluminium och koppar. Detta antas bero på att respondenternas kunskap kring elkraftskablar är mer övergripande än den hos fiberoptiska kablar.

Detta resultat ger även en insyn i hur återvinningsmarknaden ser ut idag och varför fiberoptiska kablar ej har en lika stabil och välutvecklad infrastruktur som elkraftkablar har. Det låga andrahandsvärdet, den låga volymen som hanteras, de otillräckliga studier som påvisar goda resultat tillsammans med en varierande kunskap kring ämnet bidrar till det låga intresset kring end-of-life-hantering gällande fiberoptiska kablar.

Ingen av respondenterna nämner att det idag finns konkreta planer kring framtida hantering av fiberoptiska kablar men Respondent 5 lyfter att teknikutveckling och ekonomiska incitament skulle göra återvinning av fiberoptiska kablar mer attraktivt. Även att lagstiftning och harmonisering inom EU är avgörande för att underlätta återvinning.

6.3 Sammanvävd analys

Litteraturstudien och intervjustudien har tillsammans identifierat flera hinder och potentiella lösningar kring end-of-life-hantering och genererat intressanta perspektiv utifrån teoretiska såväl som praktiska perspektiv.

Metoder och tekniker för återbruk togs i litteraturstudien upp och visade sig i teorin möjliga. Vad som uppfattades av intervjuad telekomrespondent var att kablar som inte längre hyrs ut för primärt bruk används av telekomföretaget själva eller inte alls. De kablar som inte används överhuvudtaget, som det även inte är något fel på, ligger kvar i marken då det i dagsläget inte finns intresse av att gräva upp dem. Återbruksmetoder som DFOS kan därför vara av intresse då produkten finns på plats samt med teori och utförda tester som tyder på att det skulle fungera praktiskt. Tillfälliga bygginstallationer som nämns från analys av litteraturstudien kopplas till telekomrespondentens antydande till att man i de flesta fall helst väljer att använda ny kabel, även för mindre projekt. Respondenten nämner dock att användande av tillfälliga installationer skulle kunna visa sig relevant men tolkas som en sista potentiell lösning vid, exempelvis bristande import på grund av internationella konflikter. Möjlighet till återbruk av de fiberoptiska kablarna nämns i analys av litteraturstudien som ett bättre alternativ än återvinning vilket även styrks av Naturskyddsföreningen (2021a). Återbruksmetoder används för att maximera livslängden hos produkten och minimera behovet av nya resurser vilket i sin tur har mindre negativ påverkan på miljön.

Intervjustudien fastställde att fiberoptiska kablar i dagsläget hanteras i relativt liten mängd inom Sverige och att det främst utförs i form av energiförbränning. Mekanisk separation, såsom granulering, förekommer främst för kablar överlag men där även kemisk återvinning, såsom pyrolys, används i mindre mängder för plasterna efter materialseparationen. Detta styrks även av litteraturstudien där patent och vetenskapliga artiklar främst är inriktade på mekanisk separation, där rester går till energiförbränning, men där intresse tydligt finns för utvecklingen av andra metoder.

Mattsson och André (2022) beskrev i projektet ReComp att kemisk återvinning av glasfiberkompositer inte kommer implementeras i närtid och att mer forskning krävs. L-FIRE projektet tog upp svårigheterna med att separera materialen i fiberoptiska kablar mekaniskt. Med tanke på dessa insikter kan det vara viktigt att hitta alternativa återvinningsmetoder, exempelvis som Littar projektet.

Skillnaderna mellan litteraturstudien och intervjustudien gällande återvinning identifierades tydligt. Från litteraturstudien kunde tydliga indikationer på utforskade, men begränsade, möjligheter identifieras medans återvinningsföretagen ej har ett ekonomiskt intresse av att utforska mer i dagsläget. Detta kan ge indikation på att det finns en bristfällig infrastruktur gällande återvinning av fiberoptiska kablar. Inte bara hur man hanterar kabeln rent praktiskt men även hur informationen kring kunskapen sprids mellan aktörerna. Vad som nämns under intervjustudien och som även hittas under litteraturstudien är att ett antal återvinningsföretag utfört samarbetande forskning tillsammans med institut eller forskande företag. Detta är

något som gynnar infrastrukturen och skapar spridning av kunskap vilket kan leda till snabbare utveckling inom området då teoretisk kunskap blandas med praktiskt utförande.

Under intervjustudien nämner respondent 4 att ekonomiska incitament från staten skulle kunna skapa en efterfrågan på återvinning där respondent 5 säger att ett pantsystem skulle kunna resultera i ett större intresse för ämnet. Pantsystem har enligt studien Sidorczuk-Pietraszko m. fl. (2025) visat sig vara mycket gynnsamma och har lett till insamlingsgrader som överstiger 85 procent. Studien är baserad på Pant- och retursystemet (DRS) som gäller insamlingen av dryckesförpackningar (PET-flaskor) inom EU. Pantsystem kan enligt studien bidra till sekundära råmaterial av högre kvalitet då produkterna ej blandas med annat avfall och därmed blir mindre förorenade vilket beskrevs som ett problem av återvinningsföretagen i intervjustudien. Ett pantsystem skulle även bidra till ekonomiska fördelar då cirkulariteten hos produkten ökar. Intresse för ett subventionerat pantsystem finns hos de svenska återvinningsaktörerna och stöds av forskningen.

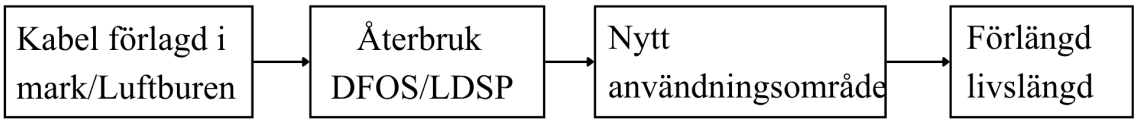
Regler och standarder kring fiberoptiska kablar diskuterades under intervjustudien där Naturvårdsverkets tolkning av EU:s direktiv nämndes flitigt. Respondenterna menade att fiberoptiska kablar ej innehåller några miljöfarliga ämnen och att de inte har gjort det på så lång tid att respondenterna blev fundersamma kring varför fiberkablar ska klassas som farligt avfall. Respondenterna hade full förståelse för att kablar historiskt sätt har innehållit miljöfarliga ämnen men hade mindre förståelse för varför fiberoptiska kablar skulle kategoriseras på detta sätt. Respondent 2 påpekade även att Naturvårdsverkets tolkning av EU:s direktiv ej är resonabla. Kopplat till litteraturstudien finns det historiskt sätt material i kablar som klassas som miljöfarliga där mjukgörande medel i plasten kan ha en negativ påverkan på naturen. Den komplexa konstruktionen av den fiberoptiska kabeln skapar även svårigheter vid återvinning där viss precision och användning av komplexa metoder krävs för att säkerställa korrekt end-of-life-hantering av kabeln. Litteraturstudien påpekar därmed vitaliteten av att ha tydliga och centraliserade riktlinjer för återvinning samtidigt som återvinningsföretagen ej vill få ett försvårat arbete. Detta skapar klyftor mellan myndigheter och företag vilket kan hämma branschens gemensamma intressen. För att förebygga dessa klyftor krävs det incitament från både återvinningsföretagen och myndigheter för en gemensam väg framåt. Införandet av striktare standarder och regler för tillåtna tillsatser i kabelmantlar och för konstruktionen av fiberkablar skulle kunna förbättra återvinningsmöjligheterna, genom att minska materialvariation och underlätta materialseparation.

6.4 Potentiella återbruks- och återvinningsflöden

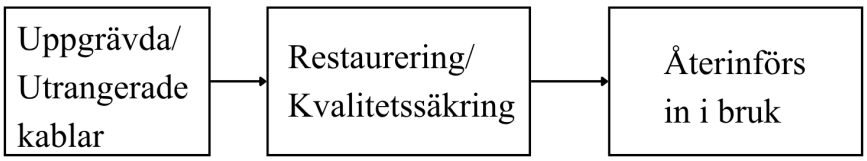
I nuläget hanteras majoriteten av fiberoptiska kablar genom energiåtervinning. För att uppnå ökad cirkularitet bör emellertid alternativa behandlingsmetoder prioriteras. I första hand bör återbruk eftersträvas och i de fall detta inte är möjligt bör materialåtervinning uppströms tillämpas. Därefter kan nedströms återvinning över-

vägas. Energiåtervinning bör betraktas som en sista åtgärd, när övriga alternativ inte är genomförbara.

Potentiella återbruksmetoder för fiberoptiska kablar, se Figur 6.1, kan vara vid användningen av DFOS för kablar som ej har någon annan användning idag. LDSP skulle kunna införas på de befintliga DSP-enheterna för att förbättra prestanda i näten och därmed förlänga användningsfasen på kablarna. Att överväga sätt att restaurera och kvalitetssäkra kablar som har varit i bruk istället för att direkt gå till återvinning är också en metod som bör beaktas för att skapa cirkularitet.



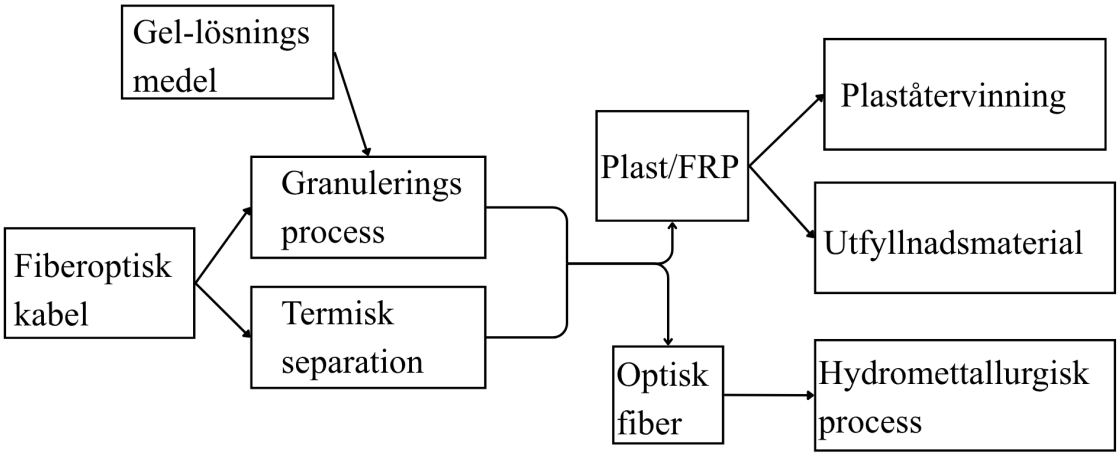
(a) Återbruksflöde för utrangerade kablar som är förlagda i mark.



(b) Återbruksflöde för utrangerade kablar som har grävts upp eller avlägsnats från byggnader och andra installationer.

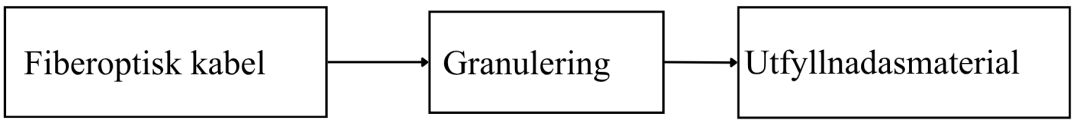
Figur 6.1: Översikt av återbruksflöden för fiberoptiska kablar beroende på installationsmiljö. (Författarnas egna bilder).

Nedan presenteras olika potentiella återvinningsflöden för fiberoptiska kablar. De presenteras i den ordning de bör eftersträvas att följas, för att få ett så bra cirkulär återvinningsflöde som möjligt. Först ut kommer mekanisk återvinning (se Figur 6.2), som enligt Tabell 6.1 har låg-medel kostnad, energi åtgång och miljöpåverkan. Termisk separation genom överhettad ånga läggs även till här, då resterande processer följer samma väg, trots att det potentiellt har högre kostnad och energiåtgång en mekanisk separation. Materialet från processen kan användas både till utfyllnadsmaterial eller återvinnas ytterligare, efter separation. Det sistnämnda är att föredra, då materialet återinförs i kretsloppet. Om materialet däremot inte bedöms vara lämpligt för mekanisk plaståtervinning, kan det användas som utfyllnadsmaterial, vilket innebär en form av nedströms återvinning.



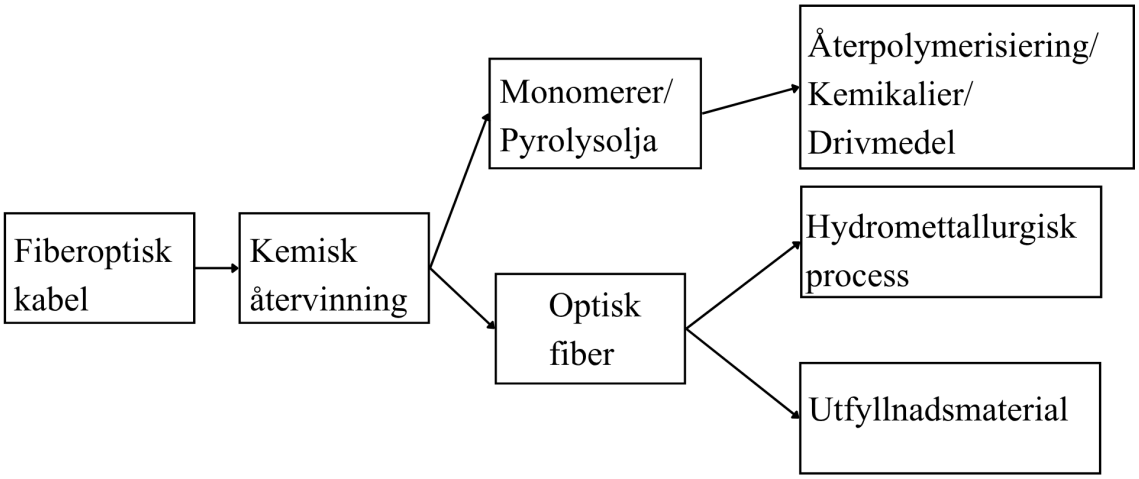
Figur 6.2: Mekanisk och termisk återvinningsflöde för fiberoptiska kablar. (Författarnas egna bild).

Figur 6.3 visar ett återvinningsflöde där kablarna granuleras för att sedan användas som utfyllnadsmaterial. Det kan diskuteras ifall det bör ligga ovanför kemisk återvinning eller inte. Processen är ekonomisk fördelaktig men materialet återvinns nedströms.



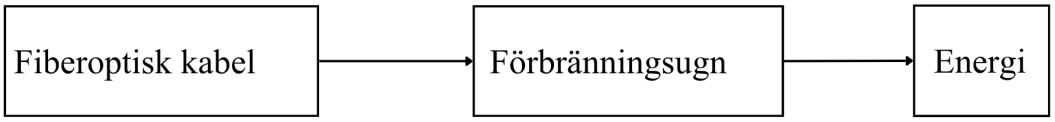
Figur 6.3: Mekanisk återvinning till utfyllnadsmaterial. (Författarnas egna bild).

Kemiska återvinningsprocesser är ett bra komplement till mekaniska återvinningsprocesser då materialet inte längre anses vara lämpligt för mekanisk återvinning. I och med att kemiska återvinningsprocesser, enligt Tabell 6.1, kräver mycket energi och har en hög kostnad bör dessa processer endast användas för att återställa plasterna, då mekanisk återvinning inte längre är möjligt.



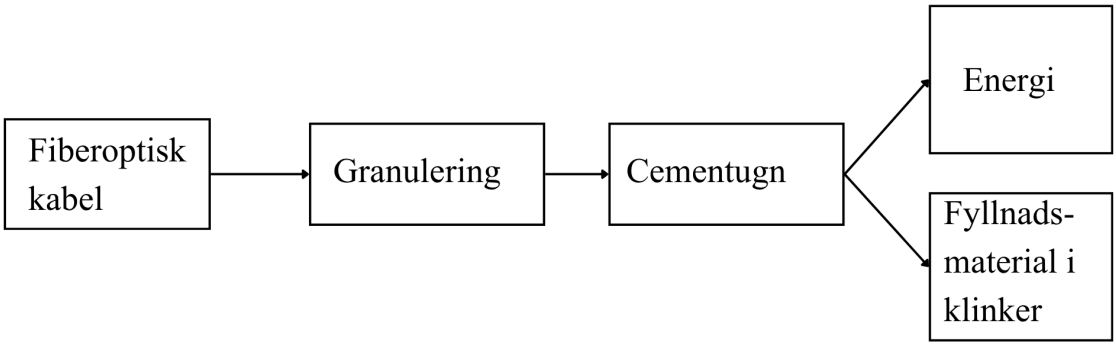
Figur 6.4: Kemiskt återvinningsflöde för fiberoptiska kablar. (Författarnas egna bild).

Energiåtervinning bör endast beaktas då materialet inte längre kan återvinnas via mekanisk eller kemisk återvinning, exempelvis vid kraftigt förorenad plast. Även fast energiåtervinning är rankad med låg kostnad i Tabell 6.1, är processen dålig ur miljöperspektiv, då plasterna som förbränns släpper ut stora mängder växthusgaser samtidigt materialet går ut ur kretsloppet istället för att återinföras. Med energiåtervinning i förbränningsugn (se Figur 6.5) kan hela kablar förbrännas och behöver där av ingen förbehandling.



Figur 6.5: Energiåtervinningsflöde i förbränningsugn. (Författarnas egna bild).

Förbränning i cementugn (se Figur 6.6) är att föredra framför förbränningsugn då det kan ses som en kombinerad energi- och materialåtervinning. Däremot behöver fiberkablarna granuleras innan förbränning för att glaset ska kunna integreras som fyllnadsmaterial i klinkern.



Figur 6.6: Energiåtervinningsflöde i cementugn. (Författarnas egna bild).

6.5 Validitet och reliabilitet

I denna studie har en kombination av litteraturstudie och intervjustudie använts, vilket möjliggör metodtriangulering, och därmed stärker studiens övergripande kvalitet. Genom att kombinera sekundärdata från vetenskapliga artiklar med primärdata från branschaktörer kan en nyanserad tolkning skapas (Bryman, 2018).

Den interna validiteten stärks genom att litteraturstudien baseras på vetenskapliga artiklar och tillförlitliga källor från Chalmers Biblioteks rekommenderade databaser. Detta minskar risken för felaktig eller missvisande information och att begrepp och teorier är etablerade inom forskningsfältet. Intervjustudien som omfattar 6 stora aktörer representerar en stor del av branschen och bidrar till att empirin är direkt kopplad till branschens praktiska verklighet. Samtidigt kan den interna validiteten påverkas av att intervjudata är baserad på respondenternas egna tolkningar och eventuella strategiska svar (Kvale & Brinkmann, 2021). Den externa validiteten styrks av att de intervjuade aktörerna representerar en stor del av marknaden vilket ökar sannolikheten att resultaten är representativa för större delar av branschen. Dock begränsas generaliserbarheten av att mindre aktörer, flera telekomföretag samt andra geografiska marknader inte har inkluderats, vilken innebär att resultaten främst bör tolkas inom den kontext studien avser (Bryman, 2018).

Litteraturstudien bedöms ha hög reliabilitet då källorna är granskade, etablerade och möjliga att kontrollera. Intervjustudiens reliabilitet kan däremot påverkas av att datainsamlingen bygger på kvalitativa metoder, där resultatet delvis är beroende av interaktionen mellan intervjuare och respondent (Kvale & Brinkmann, 2021). För att öka reliabiliteten har en semistrukturerad intervjumall använts, där likartade frågor ställs till samtliga respondenter. Detta bidrar till en mer konsekvent datainsamling och ökar möjligheten till jämförande analys mellan svaren. Reliabiliteten stärks även genom transparens i metodbeskrivningen, vilket möjliggör för andra forskare att i viss mån replikera tillvägagångssättet (Bryman, 2018).

Sammantaget bedöms studiens validitet och reliabilitet som god, där särskilt metodtrianguleringen utgör en styrka. Begränsningar finns dock kopplade till urvalet av intervjupersoner samt den subjektivitet som intervjuer innebär, vilket bör beaktas vid tolkning av resultaten.

7

Slutsats

I detta kapitel kommer studiens resultat att sammanfattas och kopplas till syfte, problemformulering och forskningsfrågor. Här skrivs det om övergripande slutsatser baserat på genomförd analys, det tydliggörs vad studien kommit fram till samt vilka insikter som genererats och vad dessa har för betydelse inom det aktuella ämnet.

7.1 Slutsatser

I detta avsnitt sammanfattas studiens huvudsakliga resultat i relation till de formulerade forskningsfrågorna. Fokus ligger på att tydligt redovisa centrala slutsatser baserade på studiens resultat och analys.

De tekniska förutsättningar som krävs för återbruk av fiberoptiska kablar i Sverige existerar och för ett fåtal metoder finns det tillförlitlig forskning som styrker dess funktion och samhällsbidragande faktorer. Däremot är återbruk av utrangerade fiberoptiska kablar, exempelvis för tillfälliga installationer, begränsad i praktiken. Begränsningarna skapas av osäkerheter kring tillförlitlighet samt av ekonomiska avvägningar, där kostnader för testning och kvalitetssäkring kan göra det mer fördelaktigt att använda nya produkter. Samtidigt visar praktiska exempel att återtillverkning av kablar är möjlig. För att möjliggöra ett ökat återbruk är metoder för kvalitetssäkring avgörande. Dessa innefattar övergripande visuell inspektion avseende kvalitet, funktion och återstående livslängd samt ODTR mätning för att bedöma funktionalitet och prestanda, i syfte att säkerställa både funktion och kvarvarande livslängd.

Ett flertal metoder för återvinning av fiberoptiska kablar har fastställts under litteraturstudien. Alla material kan återvinnas i teorin men arbetet försvåras av fiberkabelns komplexa konstruktion. De återvinningsmetoder som identifierades för hela fiberoptiska kablar var mekanisk återvinning genom granulering, kemisk återvinning genom användningen av pyrolys och termisk separation, med hjälp av överhettad ånga. Användningen av kemisk och termisk återvinning begränsas av faktorer såsom höga kostnader och bristande skalbarhet. Samtidigt har den mer etablerade metoden, mekanisk återvinning, enligt EU (2011) visat sig vara svår att tillämpa men att det potentiellt hade gått vid addering av gel-lösningsmedel för att separera materialen mer effektivt.

Återvinning av respektive material visade sig möjligt, där det för plaster finns etablerade metoder. Svårigheter finns dock i hur man bör behandla material med tillsatser som HFFR-material. Återvinning av FRP är svårare och ReComp projektet av Mattsson och André (2022) visade att kemisk återvinning för FRP idag inte är tillräckligt utvecklat att implementeras och mer forskning krävs. Mekanisk återvinnig och förbränning är idag bättre återvinningsmetoder för FRP trots att det endast innebär nedströms återvinning och energiåtervinning. I analysen dras även slutsatser om att fiberkablar kan likna glasfiberkompositer och kan därav behandlas likt FRP i återvinningsprocesser. Metoder för utvinning av germanium från den optiska fibern presenteras och kan i framtiden bli extra intressant då metallen är listad på CRMA.

Fördelar med återbruk gentemot materialåtervinning är att man förlänger produktens livslängd och minskar behovet av nyproduktion. Sammantaget bör återbruk alltid först beaktas. När återbruk inte är möjligt bör kablarna gå till materialåtervinning för att i ett sista skede, när materialåtervinning inte längre är möjligt, energiåtervinna kablarna.

I dagsläget finns ingen omfattande demontering av fiberoptiska kablar vilket medför att majoriteten av nedgrävda fiberoptiska kablar, idag ligger kvar i marken utan att återvinnas vid end-of-life. Av de fiberoptiska kablar som vid ombyggnation eller demontering hanteras utförs detta främst genom energiåtervinning, medan ett fåtal andra användningsområden inkluderar granulering och kemiska processer. Enligt Naturskyddsföreningen (2021a) är energiåtervinning en lägre prioriterad återvinningsprocess jämfört med materialåtervinning. Trots detta framhåller respondenterna metodens fördelar, eftersom kabelns höga plastinnehåll ger ett högt energivärde. Även om företag behöver betala för att bli av med kablarna till energiåtervinning är metoden ofta mer ekonomiskt fördelaktig än andra alternativ, vilket tillsammans med bristen på alternativa lösningar gör den attraktiv. Utvecklingen av mer cirkulära lösningar, såsom återbruk och återvinning, hämmas dock både av denna ekonomiska lönsamhet och av befintliga regler och standarder. Då osäkerhet kring hantering av fiberoptiska kablar uppstår, på grund av lönsamhet, regelverk och standarder, medför det även att utvecklingen av potentiella metoder försvåras. För att möjliggöra en mer hållbar utveckling krävs därför tydligare riktlinjer. I kombination med förbättrad sortering skulle detta kunna bidra till en mer cirkulär hantering av fiberoptiska kablar.

7.2 Fortsatt arbete

Mot bakgrund av de utmaningar som identifierats i studien finns flera områden där fortsatt arbete är nödvändigt. Nedan presenteras förslag, utan inbördes ordning, på områden som behöver vidareutvecklas för att skapa en mer heltäckande bild.

De presenterade återbruks- och återvinningsvägarna behöver undersökas och jämföras utifrån ekonomiska och miljömässiga perspektiv där för och nackdelar med respektive metod behöver tas fram. Då studien främst är baserad på vetenskaplig

litteratur som är testad på laborationsnivå behövs det även undersökas om förslagen är möjliga att utföra på industriell skala. Detta inkluderar även att information kring hur stor mängd fiberoptiska kablar som kan återvinnas årligen i Sverige behöver dokumenteras för att säkerställa kontinuerlig drift och hållbar återvinning. De separationsmetoder som föreslagits behöver även fastställas och undersökas för att garantera att materialet utvinns på korrekt sätt. Utöver den information som finns från svenska företag förekommer det även internationella företag som skriver att de återvinner fiberoptiska kablar. Dessa internationella företag behöver man lägga fokus på för att få information och inspiration för eventuella liknande appliceringar i Sverige.

Litteratur

Anixter Inc. (u. å). *Low Smoke Zero Halogen Wire and Cable Best Practices* [White paper]. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.anixter.com/content/dam/Anixter/White%20Papers/12F0003X00-Anixter-LSZH-WP-W%26C-EN-US.pdf

Arbetsmiljöverket. (2023). *Reach-förordningen*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.av.se/halsa-och-sakerhet/kemiska-risker/reach-forordningen/

Bacon Forrest Cleveland. (2020). *Method for processing strands of optic fiber* (US10792668B1). US. Hämtad 25 maj 2026, från https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/072663906/publication/US10792668B1

Bersted, B., & Cohen, S. A. (2020). *Polyolefin* [AccessScience, McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology]. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.accessscience.com/content/article/a535900

Bifulco, A., Chen, J., Sekar, A., Klingler, W. W., Gooneie, A., & Gaan, S. (2024). Recycling of flame retardant polymers: Current technologies and future perspectives. *Journal of Materials Science & Technology*, *199*, 156–183. https://doi.org/10.1016/j.jmst.2024.02.039

Britannica Editors. (2026, 15. maj). *Fiber optics*. Encyclopedia Brittanica. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.britannica.com/science/fiber-optics

Browder, J. S. (u. å). *Optical Material* [AccessScience, McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology]. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.accessscience.com/content/article/a472400

Bryman, A. (2018). *Samhällsvetenskapliga metoder* (3. utg.). Liber.

Bum, H. H. (2020). *Method for recycling optical fiber cables* (Patent Nr KR102124862 B1). KR. Hämtad 25 maj 2026, från https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/071137451/publication/KR102124862B1

Chen, W.-S., Chang, B.-C., & Chiu, K.-L. (2017). Recovery of germanium from waste Optical Fibers by hydrometallurgical method. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *5*(5), 5215–5221. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.09.048

Chen, W.-S., Chang, B.-C., & Shuai, C.-k. (2020). Improve subsequent leaching efficiency and extraction rate of germanium in optical fibre cables with pre-treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *720*(1), 012005. https://doi.org/10.1088/1757-899X/720/1/012005

De, B., Bera, M., Bhattacharjee, D., Ray, B. C., & Mukherjee, S. (2024). A comprehensive review on fiber-reinforced polymer composites: Raw materials to ap-

plications, recycling, and waste management. *Progress in Materials Science*, *146*, 101326. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2024.101326

El-Hiti, G. A., Ahmed, D. S., Yousif, E., Al-Khazrajy, O. S. A., Abdallh, M., & Alanazi, S. A. (2022). Modifications of Polymers through the Addition of Ultraviolet Absorbers to Reduce the Aging Effect of Accelerated and Natural Irradiation. *Polymers*, *14*(1). https://doi.org/10.3390/polym14010020

Eriksson, D. (2025). *Rapportskrivning: för studenter och handledare*. Studentlitteratur.

European Commission. (u. å). *Critical raw materials*. Hämtad 25 maj 2026, från https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en

European Commission. (2011). *Final report summary — L-FIRE (Long fibre recycling)*. CORDIS. Hämtad 25 maj 2026, från https://cordis.europa.eu/project/id/513091/reporting

European Committee for Standardization. (2018). *Fire classification of construction products and building elements – Part 6: Classification using data from reaction to fire tests on electric cables* (EN 13501-6).

European Environment Agency. (2024). *EU's plastic waste mechanical recycling capacity*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.eea.europa.eu/en/circularity/sectoral-modules/plastics/eus-plastic-waste-mechanical-recycling-capacity

European Parliament and Council of the European Union. (2011). *Direktiv 2011/65/EU om begränsning av användning av vissa farliga ämnen i elektrisk och elektronisk utrustning*. Hämtad 25 maj 2026, från https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/ALL/?uri=celex:32011L0065

European Remanufacturing Network. (u. å). *What is Remanufacturing?* Hämtad 25 maj 2026, från https://www.remanufacturing.eu/about-remanufacturing.php

Europeiska unionen. (2024, 3. maj). Förordning (EU) 2024/1252 om säker och hållbar försörjning av kritiska råmaterial. Hämtad 25 maj 2026, från https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401252

Fiber Broadband Association. (2024). *Scalability and Longevity of Fiber Networks* [White paper]. Hämtad 25 maj 2026, från https://fiberbroadband.org/wp-content/uploads/2024/02/FBA-0018E_ScalabilityLongevity_WhitePaper_lv2.pdf

Fråne, A., Anderson, S., Andersson, C., Boberg, N., Dahlbom, M., Miliute-Plepiene, J., Unsbo, H., Villner, M., & George, M. (2022). *Kartläggning av plastflöden i Sverige 2020: Med avseende på råvara, produkter och avfall* (Rapport 7038). Naturvårdsverket. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/4ac864/globalassets/media/publikationer-pdf/7000/978-91-620-7038-0.pdf

Garcia-Gutierrez, P., Amadei, A. M., Klenert, D., Nessi, S., Tonini, D., Tosches, D., Ardente, F., & Saveyn, H. (2023). *Environmental and Economic Assessment of Plastic Waste Recycling* (JRC132067). European Commission, Joint Research Centre. https://doi.org/10.2760/0472

Hexatronic. (u. å). *Color Codes and Counting Directions for Fiber Optic Cables*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.hexatronic.com/hubfs/bu-he/content-offer/Color-Codes-and-Counting-Directions-for-Fiber-Optic-Cables.pdf

Hill Metal Recycling. (u. å). *Is fibre optic cable recyclable?* Hämtad 25 maj 2026, från https://www.hillmetalrecycling.co.uk/news/is-fibre-optic-cable-recyclable/

IKEM – Innovations- och kemiindustrierna i Sverige. (u. å). *Mekanisk återvinning av plast*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.ikem.se/for-vara-medlemmar/branschfragor/plastfragor/atervinning/mekanisk-atervinning-av-plast/

International Electrotechnical Commission. (u. å-a). *Optical fibre cables (IEC 60794 series)* (IEC 60794).

International Electrotechnical Commission. (u. å-b). *Optical fibres (IEC 60793 series)* (IEC 60793).

International Electrotechnical Commission. (2005). *Measurement of smoke density of cables burning under defined conditions* (EN 61034).

International Electrotechnical Commission. (2014). *Test on gases evolved during combustion of materials from cables – Part 2: Determination of acidity and conductivity* (EN 60754-2).

International Electrotechnical Commission. (2015). *Optical fibre cables – Part 1-21: Generic specification – Basic optical cable test procedures – Mechanical tests* (IEC 60794-1-21).

International Electrotechnical Commission. (2017). *Optical fibre cables – Part 1-22: Generic specification – Basic optical cable test procedures – Environmental tests* (IEC 60794-1-22).

International Telecommunication Union. (u. å). *ITU-T Recommendations*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.itu.int/en/ITU-T/publications/pages/recs.aspx

International Telecommunication Union. (2024a). *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable* (ITU-T G.657). https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657

International Telecommunication Union. (2024b). *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable* (ITU-T G.652). https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652

Ip, E., Fang, J., Li, Y., Wang, Q., Huang, M.-F., Salemi, M., & Huang, Y.-K. (2022). Distributed fiber sensor network using telecom cables as sensing media: technology advancements and applications. *J. Opt. Commun. Netw.*, *14*(1), A61–A68. https://doi.org/10.1364/JOCN.439175

Kemikalieinspektionen. (u. å). *Vanliga plastsorter*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.kemi.se/hallbarhet/amnen-och-material/plast/vanliga-plastsorter

Kvale, S., & Brinkmann, S. (2021). *Den kvalitativa forskningsintervjun* (4. utg.). Studentlitteratur.

Landberg, J. (2021). *Mekanisk återvinning – Sortering och tvätt – Steg 1*. RISE IVF AB. Hämtad 25 maj 2026, från https://klimatledande.lindholmen.se/sites/default/files/2024-01/mekanisk-atervinning-steg-1-sortering-och-tvatt-rapport-final.pdf

Lassesson, H., Gottfridsson, M., Nellström, M., Rydberg, T., Josefsson, L., & Mattsson, C. (2021). *Kemisk återvinning av plast: Teknik, flöden och miljöaspekter*

(Rapport 6990). Naturvårdsverket. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/4ac551/globalassets/media/publikationer-pdf/6900/978-91-620-6990-2.pdf

LD4 Recycle. (u. å). *Fiber Optic Cable (LD4)*. Hämtad 25 maj 2026, från https://ld4recycle.com/fiber-optic-cable-ld4-1

Liu, J., Li, H., Li, J., Hwang, D., Aggarwal, J., Biondi, B., & Noh, H. Y. (2025). Urban Monitoring Using Preexisting Telecommunication Fiber-Optic Networks for Distributed Acoustic Sensing: A Review. *IEEE Sensors Journal*, *25*(21), 39353–39370. https://doi.org/10.1109/JSEN.2025.3610429

Mattsson, C., & André, A. (2022). *ReComp Summary 2019–2022*. Research Institutes of Sweden AB. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.ri.se/sites/default/files/2024-04/ReComp%20summary%20%202019-2022_RISE_Mattsson_Andre.pdf

Menna, C., De Simone, L., & Capozzi, V. (2025). Mechanical recycling of GFRP wind turbine blades: Evaluating the sustainability and economic potential of recycled fibers. *Developments in the Built Environment*, *23*, 100710. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dibe.2025.100710

Miljöbalk (1998:808) (1998). https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/miljobalk-1998808_sfs-1998-808

Moore, J. A. (2020). *Pyrolysis* [AccessScience, McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology]. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.accessscience.com/content/article/a559500

Mustajib, M. I., Kurniati, N., & Ciptomulyono, U. (2017). Remanufacturing Quality Control Strategies: A Literature Review and Proposed Conceptual Framework. *Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.researchgate.net/profile/M-Mustajib-2/publication/321568784_Remanufacturing_Quality_Control_Strategies_A_Literature_Review_and_Proposed_Conceptual_Framework/links/5a27487faca2727dd883a6f5/Remanufacturing-Quality-Control-Strategies-A-Literature-Review-and-Proposed-Conceptual-Framework.pdf

Nasr, N. (u. å). *Remanufacturing and the Circular Economy*. Hämtad 25 maj 2026, från https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/506f2a70a6ecccd3/original/Remanufacturing-and-the-circular-economy.pdf

Naturskyddsföreningen. (2021a). *Avfallstrappan*. Hämtad 21 maj 2026, från https://www.naturskyddsforeningen.se/faktablad/avfallstrappan/

Naturskyddsföreningen. (2021b, 21. april). *Vad menas med cirkulär ekonomi?* Naturskyddsföreningen. https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vad-menas-med-cirkular-ekonomi/

Naturvårdsverket. (u. å-a). *Cirkulär ekonomi*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/cirkular-ekonomi/

Naturvårdsverket. (u. å-b). *Flöden för plaståtervinning*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/contentassets/5595c05fa6eb4fe19ddc34194970d484/08-floden-for-plastatervinning.pdf

Naturvårdsverket. (2021). *Vägledning om avfallsklassificering: 2 kap. avfallsförordningen*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/globa

lassets/vagledning/avfall-och-kretslopp/farligt-avfall/klassificering-och-kodning/210530_vgl_2_kap_avfallsforordningen_om_avfallsklassificering.pdf

Naturvårdsverket. (2025a). *Avfallshierarkin visar stegen vi behöver ta*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/avfall/pagaende-arbeten/avfallshierarkin-visar-stegen-vi-behover-ta/

Naturvårdsverket. (2025b). *Klassificering och kodning*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall-farligt-avfall/klassificering-och-kodning/

Naturvårdsverket. (2025c). *Materialåtervinning av plast*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/materialatervinning-av-plast/

Naturvårdsverket. (2026). *Producentansvar – från avfall till cirkulär ekonomi*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/cirkular-ekonomi/producentansvar---fran-avfall-till-cirkular-ekonomi/

Net Recycling. (u. å). *Fiber Optic Recycling*. Hämtad 25 maj 2026, från https://netrecycle.net/

Nexans. (u. å-a). *Allt du behöver veta om CPR*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.nexans.se/sv/segment/Building/Brandsakra-losningar-Halogenfritt/CPR.html

Nexans. (u. å-b). *Färg- och uppläggningsschema, S12 i tubkabel (SE)*. Nexans. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.nexans.se/dam/jcr:e284d051-6eab-40d1-af5c-1ae5fee84d82/Color%20code%20S12%20in%20loose%20tube%20cable%20EN.pdf

Nexans. (u. å-c). *GRHL Ultimate™ Mikrokabel, loose tube* [Produktdatablad]. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.nexans.se/.rest/catalog/v1/family/pdf/29220/GRHL-Ultimate-Mikrokabel-loose-tube

Nexans. (u. å-d). *GRHQ Inomhus/Utomhus, loose tube* [Produktdatablad]. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.nexans.se/.rest/catalog/v1/family/pdf/29384/GRHQ-Inomhus-Utomhus-loose-tube

Nexans. (u. å-e). *Produktdatablad för [GRHL-U-CDGNRV 96 T12 G657A1 S12 (1.6-tub)]*. Hämtad 21 maj 2026, från https://www.nexans.se/.rest/catalog/v1/product/pep/29111398-201-00

Niu, Z., Yang, H., Li, L., Shi, M., Xu, G., Hu, W., & Yi, L. (2024). Learnable digital signal processing: A new benchmark of linearity compensation for optical fiber communications. *Light: Science & Applications*, *13*(1), 188. https://doi.org/10.1038/s41377-024-01556-5

Oceanic Environmental Cables. (u. å). *Submarine Cable Recovery & Recycling*. Hämtad 25 maj 2026, från https://oecops.com/

Pringsakul, N., Prommas, R., & Kaewpengkrow, P. R. (2023). Analysis of waste optical fiber cables for converting to fuel through pyrolysis. *Chiang Mai Journal of Science*, *50*(1), e2023006. https://doi.org/10.12982/CMJS.2023.006

Pryamikov, A. (2024). Deep learning as a highly efficient tool for digital signal processing design. *Light: Science & Applications*, *13*, 2434–2435. https://doi.org/10.1038/s41377-024-01599-8

Qureshi, J. (2022). A Review of Fibre Reinforced Polymer Structures. *Fibers*, *10*(3), 27. https://doi.org/10.3390/fib10030027

RecyFibre. (u. å). *Recycling, Revalorization, and Deployment of fiber optic cables*. Hämtad 25 maj 2026, från https://recyfibre.ca/en/expert.php

Riksarkivet. (u. å). *Information om Televerkets verksamhet*. Hämtad 25 maj 2026, från https://sok.riksarkivet.se/amnesomrade?postid=Arkis+0619205e-1d68-49a5-9149-a38f354306c7

RISE Research Institutes of Sweden AB. (u. å). *Kemisk återvinning av plast, textil och kompositer*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.ri.se/sv/material-och-bestandighet/plast/expertis/kemisk-atervinning-av-plast-textil-och-kompositer

Rothon, R. (2017). Precipitated and Fumed Silicas and Related Products. I R. Rothon (Red.), *Fillers for Polymer Applications* (s. 293–311). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28117-9_10

Schade, A., Melzer, M., Zimmermann, S., Schwarz, T., Stoewe, K., & Kuhn, H. (2024). Plastic Waste Recycling—A Chemical Recycling Perspective. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *12*(33), 12270–12288. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c02551

Schyns, Z. O. G., & Shaver, M. P. (2021). Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review. *Macromolecular Rapid Communications*, *42*(3), 2000415. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/marc.202000415

Selcable. (2025a). *Avfallsklassificering av svensk kabel* [Branschdokument]. Hämtad 25 maj 2026, från https://selcable.se/?document=avfallsklassificering-av-svensk-kabel

Selcable. (2025b). *Selcable underlättar återvinning av svensk kabel* [Pressmeddelande]. Hämtad 25 maj 2026, från https://selcable.se/underlattar-atervinning-av-kabel/

Shahlin, R., Al Alami, J., Malahfji, A., Helal, M., & Al Hazza, M. (2025). The role of recycled glass in optical fiber technology for circular economies: A review. *International Journal of Engineering Materials and Manufacture*, *10*(2), 35–43. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.deerhillpublishing.com/index.php/ijemm/article/view/291

Sharma, J., Shukla, S., Ramana, G. V., & Behera, B. K. (2025). Advances in carbon and glass fiber recycling: Optimal composite recycling and sustainable solutions for composite waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *27*(5), 3166–3195. https://doi.org/10.1007/s10163-025-02342-0

Sidorczuk-Pietraszko, E., Piontek, W., & Larsson, A. (2025). Are Deposit–Return Schemes an Optimal Solution for Beverage Container Collection in the European Union? An Evidence Review. *Sustainability*, *17*(19), 8791. https://doi.org/10.3390/su17198791

Stena Recycling. (u. å). *Kabel är inte bara kabel - nu är det farligt avfall*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.stenarecycling.com/sv/vart-erbjudande/losningar-per-materialslag/metaller/kabel/

Stena Recycling. (2025). *Hantering av kabel enligt lagkrav*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.stenarecycling.com/sv/nyheter-insikter/nyheter/2025/hantering-av-kabel-enligt-nya-lagkrav/

Swanson, R. L., Breslin, V. T., Bortman, M. L., Tyler, N., Roy, N. U., & Simonsen, J. (u. å). *Recycling Technology* [AccessScience, McGraw-Hill Encyclopedia of Science & Technology]. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.accessscience.com/content/article/a757456

Svensk Elstandard. (2014). *Kraftkablar, styrkablar och kommunikationskablar – Kablar för allmänna byggnadsverk med avseende på deras reaktion vid brandkrav* (SS-EN 50575).

Svensk Elstandard. (2016). *Fiberoptiska kablar – Typbeteckningar* (SS 424 18 86).

Svenska institutet för standarder. (u. å). *Vad är en standard?* Hämtad 25 maj 2026, från https://www.sis.se/standarder/vad-ar-en-standard/

Swerea IVF. (2018). *Recycling of electrical cables: With focus on mechanical recycling of polymers* (Nr 21813). Swerea IVF. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1894467/FULLTEXT01.pdf

Sveriges geologiska undersökning. (2020). *Germanium* [Myndighetswebbplats]. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/germanium/

Sveriges Kommuner och Regioner. (u. å). *Konnektivitet – grundläggande digital infrastruktur*. Hämtad 21 maj 2026, från https://skr.se/digitaliseringivalfarden/konnektivitetgrundlaggandedigitalinfrastruktur.8159.html

Sveriges riksdag. (2020). *EU:s lagar och regler*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.riksdagen.se/sv/sa-fungerar-riksdagen/sa-fungerar-eu/en-eu-lag-blir-till/eus-lagar-och-regler/

Takahashi, K., Furuya, T., Kunioka, T., Somemura, I., & Matsuno, H. (2013). *Method for recycling optical fiber cable* (Patent Nr JP2013223822A). JP. Hämtad 25 maj 2026, från https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049594298/publication/JP2013223822A

The Climate Change Company. (u. å-a). *Fiber Optic Cable Recycling*. Hämtad 25 maj 2026, från https://theclimatechangecompany.com/fiber-optic-cable-recycling/

The Climate Change Company. (u. å-b). *Littar Pilot*. Hämtad 25 maj 2026, från https://theclimatechangecompany.com/littar-pilot/

The Fiber Optic Association. (u. å-a). *Fiber Optic Cable*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.thefoa.org/tech/ref/basic/cable.html

The Fiber Optic Association. (u. å-b). *Fiber Optic Cable and Connector Color Codes*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.thefoa.org/tech/ColCodes.htm

The Fiber Optic Association. (u. å-c). *Optical Fiber*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html

The Fiber Optic Association. (u. å-d). *Outside Plant Fiber Optic Testing*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.thefoa.org/tech/ref/OSP/test.html

Tunsu, C., & Retegan, T. V. (2016). Hydrometallurgical Processes for the Recovery of Metals from WEEE. I *WEEE Recycling: Research, Development, and Policies*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803363-0.00006-7

Umicore. (u. å). *Germanium refining*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.umicore.com/en/markets-products/metals/germanium/germanium-refining/

U.S. Geological Survey. (u. å). *Germanium Statistics and Information*. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/germanium-statistics-and-information

Vinnova. (2022). *ReComp – Cirkulära strömmar från glasfiberkomposit* (Diarienummer 2018-04132). Vinnova. Hämtad 25 maj 2026, från https://www.vinnova.se/p/recomp---cirkulara-strommar-fran-glasfiberkomposit/

Wędrychowicz, M., Kurowiak, J., Skrzekut, T., & Noga, P. (2023). Recycling of Electrical Cablesâ€"Current Challenges and Future Prospects. *Materials*, *16*(20). https://doi.org/10.3390/ma16206632

Young, S., Penumadu, D., Foster, D., Maeser, H., Balijepalli, B., Reese, J., Bank, D., Dahl, J., & Blanchard, P. (2020). Smart Adhesive Joint with High-Definition Fiber-Optic Sensing for Automotive Applications. *Sensors*, *20*(3). https://doi.org/10.3390/s20030614

Återvinningsindustrierna. (2020). *AI vill se en tydlig cirkulär klassificering och hantering av kabelrester*. Hämtad 21 maj 2026, från https://recycling.se/ai-vill-se-en-tydlig-cirkular-klassificering-och-hantering-av-kabelrester/

A

Appendix

A.1 Fullständig sökstrategi

Tabell A.1: Sökstrategi för litteraturstudie.

Kategori	Sökterm 1	Sökterm 2	Sökterm 3
Återbruk	"fiber optic cable" OR "fiber optic" OR "optical fiber cable" OR "optical fiber" OR "fiberoptic infrastructure"	reuse OR re-use OR repurpose OR "reuse applications" OR "end-of-life" OR refurbishment	"distributed fiber optic sensing" OR DFOS OR DAS OR DTS
	(samma som ovan)	(samma som ovan)	"life cycle assessment" OR LCA OR "circular economy"
Återvinning	(samma som ovan)	recycl* OR reuse OR repurpose* OR recovery OR waste OR "end of life"	
Material	germanium OR Ge	recovery OR recycling OR extraction	"optical fiber" OR "fiber optic"
	polyethylene OR "PE plastic"	recycl* OR "mechanical recycling" OR "chemical recycling" OR recovery	"waste management" OR "circular economy"
	FRP OR "fiber reinforced plastic"	(samma som ovan)	"waste management" OR "circular economy"

A.2 Intervjumall för återvinningsföretag

2026-02-11

Intervjumall återvinningsföretag

Inledning

- Är det okej att vi spelar in intervjun för att transkribera efteråt?
- Vilken roll har ni i hantering av fiberoptiska kablar? (insamling, sortering, förbehandling, återvinning, transport, skicka till annan aktör)?

1. Process och logistik

1.1 Sortering och insamling

- Hur ser sorteringskedjan ut från demontering till mottagning hos er? (Vem sorterar vad? installatör, entreprenör, insamlare, ni själva?)
- Kommer fiberkablarana in separat eller blandat med andra elkablar till er?
    - Hur sorterar ni bort fiberkablarna från andra kablar?

För aktörer som inte återvinner fiber:

- Hur hanterar ni fiberkablar när de kommer in, trots att ni inte återvinner dem själva?
    - Skickar ni fiberkabeln vidare till någon annan aktör? Till vem?

1.2 Hantering och avfallsklassning

- Vilken avfallsklass tilldelas fiberoptiska kablar hos er? (Farligt avfall, Icke farligt avfall?)
- Vilka regelverk och standarder styr hur ni få hantera och återvinna fiberkablar?

2. Separation och behandling

- Separerar ni materialen i fiberkablarna (plast, metaller, glasfiber)?
- Vilka tekniker används i separationen (mekanisk, termisk, kemisk)?
- Vilka materialkomponenter går inte att separera effektivt idag?

1

Figur A.1: Intervjumall för återvinningsföretag (med fortsättning).

3. Materialåtervinning

3.1 Materialflöden

- Vilka material får ni ut efter återvinningen och vilken renhetsnivå når dessa?
- Hur används de återvunna materialen vidare?
  (sekundärt råmaterial, går till förädling, skickas till annan aktör?)

3.2 Värdefulla ämnen

- Har ni undersökt möjligheten att återvinna germanium eller andra värdefulla ämnen ur fiberkärnan?

3.3 Restprodukter

- Vilken typ av komponenter kan inte återvinnas och hur hanteras dessa?
  (Energiåtervinning, restavfall, deponi)

4. Hinder och utvecklingsbehov

- Vilka är de största (tekniska, ekonomiska eller logistiska) hindren för att återvinna fiberoptiska kablar mer effektivt?
- Vad krävs för att öka återvinningsgraden av fiberoptiska kablar?
  - Skulle man kunna öka återvinningsgraden på fiberoptiska kablar med en annan konstruktion på kablarna?

5. Framtid och cirkulära möjligheter

- Vilka framtida möjligheter ser ni inom återvinning av fiberkablar?
- Finns det potential för ett mer cirkulärt system kring fiberoptisk infrastruktur?
- Hur ser ert innovations- eller utvecklingsfokus ut framåt?
- Bedömer ni att kemiska eller termiska separationsmetoder kan blir genomförbara i framtiden?
- Vilken typ av teknik, forskning eller branschstandarder skulle behövas för att skapa ett helt cirkulärt återvinningssystem?

Specifikt för företag som ej återvinner fiberkablar:

- Skulle ni kunna tänka er att återvinna fiberkablar om rätt teknik och volymer fanns idag?

2

6. Avslutande reflektion

- Har ni något att tillägga som skulle kunna vara till nytta för intervjun?

A.3 Intervjumall för telekomföretag

2026-02-11

Intervjumall telekomföretag

Inledning

- Är det okej att vi spelar in intervjun för att transkribera efteråt?
- Vilken roll har ni i hantering av fiberoptiska kablar?

1. Bakgrund och nuläge

- Ungefär hur stora mängder fiberkablar hanterar ni årligen (installation och kassering)?
- Hur arbetar ni idag med återbruk av fiberoptiska kablar?
  - I vilka situationer återbrukas kablar istället för att ersättas?
- Hur ser processen ut när kablar tas ur drift?
- Vad händer med uttjänta eller överblivna fiberkablar i praktiken?
- Samarbetar ni med externa återvinnings- eller avfallshanteringsföretag?
  - Om ja, vilka krav ställer ni på dessa aktörer?
- Finns det riktlinjer eller policyer hur fiberkablar bör hanteras?

2. Ansvar

- Vilka interna mål eller policys styr ert arbete med cirkulära materialflöden?
- Vem fattar beslut om huruvida kablar ska tas upp, återbrukas, återvinnas eller lämnas kvar – och vilka faktorer väger tyngst i det beslutet?
- Hur ser ansvarsfördelningen ut för att fiberkablar ska återvinnas eller återbrukas mellan:
  - Beställare
  - Entreprenör
  - Leverantör
  - Återvinningsaktör
- Upplever ni att ansvaret är tydligt eller otydligt i praktiken?
- Hur arbetar ni med spårbarhet av material från installation till avveckling?
  - Kan ni se vad de är för kablar som tas ur drift?

1

Figur A.2: Intervjumall för telekomföretag (med fortsättning).

3. Producentansvar och producentblad

- I vilken utsträckning följs producentansvar för fiberoptiska kablar idag?
- Hur ofta får ni tillgång till fullständig dokumentation (t.ex. producentblad, materialsammansättning)?
- Vilka konsekvenser får det när producentblad saknas?
- Hur hanterar ni fiberkablar som är äldre och där dokumentation helt?

Fördjupning: Hur påverkar avsaknad av producentblad möjligheten att:

- Materialåtervinna?
- Sortera kablar korrekt?
- Uppfylla svenska miljökrav?

4. Kablar från utlandet

- Hur stor andel av de fiberkablar som används är producerade utomlands?
- Ser ni skillnader mellan svenskproducerade och utlandsproducerade kablar när det gäller:
    1. Dokumentation
    2. Materialinnehåll
    3. Återvinningsbarhet
- Finns det upphandlingar där miljökrav eller dokumentationskrav prioriteras lägre än kostnad eller leveranstid?

5. Ekonomi och affärsmodeller

- Hur ser kostnadsbilden ut för återvinning jämfört med att låta kablar ligga kvar i marken?
- Finns det ekonomiska incitament för återbruk av fiberkablar i er verksamhet?
- Har ni gjort livscykelkostnadsanalyser (LCC) som inkluderar avveckling och återvinning?

6. Miljö- och klimatpåverkan

- Hur stor del av erat kabelmaterial återvinns respektive återbrukas idag?
- Vilken klimatpåverkan har er nuvarande hantering av förbrukade kablar?

7. Hinder och utmaningar

- Vilka är de största hindren för effektiv återvinning av fiberoptiska kablar i Sverige idag? (Tekniska, ekonomiska, organisatoriska eller juridiska)
- Vilka tekniska hinder ser ni för återbruk av fiberkablar i praktiken?
- Hur påverkar långa livslängder och oklar historik återvinningsprocessen?

8. Förbättringspotential och framtid

- Vad skulle krävas för att öka återbruket av fiberoptiska kablar?
- Vad skulle krävas för att förbättra materialåtervinningen?
- Borde kraven på producentblad och spårbarhet skärpas? Varför/varför inte?
- Hur ser ni på möjligheten att införa cirkulära affärsmodeller inom fiberinfrastruktur?

9. Avslutande reflektion

- Finns det något viktigt kring återvinning och återbruk av fiberkablar som vi inte har berört?

INSTITUTIONEN FÖR INDUSTRI- OCH MATERIALVETENSKAP
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se



CHALMERS