

2015•2016
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterproef

Ontwikkeling van een modulair systeem dat het fixeren en afdichten van glasvezelkabels combineert

Promotor :
ing. John BIJNENS
Dhr. ERIC SCHURMANS

CoPromotor :
Dhr. DAVID VAN BAELEN

Koen Hendrickx

Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2015•2016

**Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen**

master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterproef

Ontwikkeling van een modulair systeem dat het fixeren en
afdichten van glasvezelkabels combineert

Promotor :

ing. John BIJNENS
Dhr. ERIC SCHURMANS

Copromotor :

Dhr. DAVID VAN BAELEN

Koen Hendrickx

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: elektromechanica*

Voorwoord

Tijdens het laatste jaar Industriële Ingenieurswetenschappen krijgen de studenten de taak om een masterproef uit te werken. Hierin wordt geprobeerd via onderzoek en ontwerp een oplossing te vinden voor de probleemstelling van een bedrijf.

Bij een vorig eindwerk uit de Professionele Bachelor schreef ik reeds een scriptie waarin eveneens een ontwerpprobleem uitgewerkt werd. Deze ervaringen zullen nuttig zijn bij dit onderwerp.

Nadat ik mijn resultaten van het eerste semester in het schakeljaar meegedeeld kreeg, nam ik het initiatief om op zoek te gaan naar een masterproefonderwerp. Dankzij medestudenten en vakantiewerkperiodes in het Leuvense is de naam 'TE Connectivity' ('CommScope' ondertussen) welgekend. Wanneer via het digitaal platform van de Katholieke Universiteit Leuven een oproep werd gedeeld van TE in verband met een masterproef, twijfelde ik geen moment om me kandidaat te stellen. Na een gesprek met dhr. Jos Corstjens en dhr. David Van Baelen koos ik voor het onderwerp dat in deze masterproef behandeld wordt.

Tijdens academiejaar 2015-2016 werd ik medewerker in het team dat de behuizingen ontwerpt en ontwikkelt. Eric Schurmans en David Van Baelen waren tijdens deze periode mijn promotoren die me met raad en daad steunden in het verwezenlijken van mijn masterproef. De andere medewerkers binnen en buiten dit team waren eveneens zeer bereid om te helpen waar nodig. Alsook het helpen beantwoorden van vragen verliep zeer spontaan. Ook Maarten Aerts –medestudent aan de KU Leuven - werkte hier aan zijn masterproef en wil ik graag bedanken voor de aangename samenwerking omtrent opbouw en structureren van de teksten.

De begeleiding van de universiteit door ing. John Bijnens was eveneens zeer aangenaam en vlot, waarvoor dank.

Ten slotte wil ik mijn ouders bedanken die me in de eerste plaats de kans hebben gegeven om dit diploma te kunnen behalen en me te steunen waar nodig. Ook Lindsay Vanhaverbeke dank ik voor de steun tijdens mijn opleiding. Met haar expertise in het lesgeven kon ik de eindverdediging van deze masterproef voorbereiden.

Inhoud

1	Situering.....	1-25
1.1	Geschiedenis en evolutie van het bedrijf [1]	1-25
1.2	Broadband Network Solutions	1-14
1.3	Ligging van het bedrijf	1-15
1.4	FTTH- (Fiber To The Home) netwerk.....	1-16
1.5	De omgeving van een FTTH-netwerk	1-16
2	Literatuurstudie	2-19
2.1	FTTx-netwerkarchitecturen.....	2-19
2.2	FTTH-topologie en technologie	2-20
2.3	Open acces netwerken.....	2-23
2.4	Optische vezelkabels	2-24
2.5	Vezelkabels.....	2-27
2.6	Werking van een optische vezelverbinding	2-29
2.7	Productie van optische vezels	2-34
3	Onderzoeksopzet.....	3-39
3.1	Probleemstelling	3-39
3.2	Doelstelling en Product Requirements Document (PRD)	3-40
3.3	Materiaal en methode	3-46
4	Conceptgeneratie	4-49
4.1	Fixatieconcepten	4-50
4.2	Sealingconcepten	4-64
4.3	Conceptkeuze	4-69
4.4	Combinatie van fixatie en afdichting	4-72
5	Prototyping wrijvingsconcept.....	5-77
5.1	Prototype-ontwerp	5-77
5.2	Trektesten en bespreking van het eerste prototype	5-81
5.3	Testen van wrijvingsconcept met rubber	5-94
5.4	Tweede iteratie	5-103
5.5	Derde iteratie	5-117
6	Bestuderen van het lijmconcept	6-125
6.1	Prototype ontwerp.....	6-125
6.2	Testen en verbeteren van het lijmconcept.....	6-126

7	Conclusie.....	7-133
7.1	Totale conclusie van het wrijvingsconcept	7-133
7.2	Totale eindconclude van het lijmconcept	7-141
8	Bijlagen	8-147
8.1	Hercorub EPDM 005K datasheet.....	8-147
8.2	Kaart met IP-graden	8-148
8.3	IPx5-procedure, geschreven door Maarten Aerts	8-149
8.4	Patent statische mixer.....	8-152
8.5	Datasheet Polymeer: Sabic Gelyo HRF 222.....	8-153
8.6	Sabic PP58 MNK 10	8-154

Tabellenlijst

Tabel 1: Vezeleigenschappen [11]	2-33
Tabel 2: Product Requirement Document voor dit Masterproefonderwerp	3-41
Tabel 3: Buigradii van vezels in Fiber Management Systems	3-43
Tabel 4: Eisen per categorie (enkel A & C zijn getoond) [14]	3-45
Tabel 5: PUGH kaart fixatiekeuze	4-69
Tabel 6: PUGH-kaart voor Sealing.....	4-70
Tabel 7: Resultaten van test met statische gewichten	5-101
Tabel 8: Testresultaten tweede iteratie	5-113
Tabel 9: Testresultaten statische trekttesten iteratie 3	5-119
Tabel 10: Testresultaten op 45°C.....	5-122
Tabel 11: Testresultaten bij -15°C.....	5-123
Tabel 12: Prijschatting extern bedrijf	7-137
Tabel 13: PRD met behaald of niet-behaalde doelstellingen	7-140

Figurenlijst

Figuur 1:Netwerktopologie [4]	1-14
Figuur 2:OSP producten [4]	1-14
Figuur 3:ISP-producten [4]	1-15
Figuur 4: Ligging van CommScope [27]	1-15
Figuur 5: Omgeving van een FTTH netwerk [6]	1-16
Figuur 6: Overzicht FTTx netwerken [6]	2-20
Figuur 7: links: point-to-multipoint, rechts: point-to-point [6]	2-21
Figuur 8: FTTH netwerk lagen [10]	2-22
Figuur 9: Open acces modellen [10]	2-23
Figuur 10: Betrouwbaarheidsniveau van optische vezelverbindingen	2-24
Figuur 11: Kabeloverzicht	2-25
Figuur 12: Looped installatie en Death To The Field installatie	2-25
Figuur 13:Riser en Direct drop installatie	2-26
Figuur 14: De doorlopende kabel links in de behuizing is de 'riser'	2-26
Figuur 15:Loose-tube Kabel [11]	2-27
Figuur 16:Ribbon- of Lintkabel [11]	2-27
Figuur 17:Tight-buffered Kabel [11]	2-27
Figuur 18:(a) Simplex kabel, (b) Zipcord kabel, (c) Tightpack kabel, (d) Breakout kabel, (e) Armored loose-tube kabel [11]	2-29
Figuur 19:Principiële opbouw van een optische vezelverbinding	2-30
Figuur 20: Opbouw van een glasvezel [11]	2-30
Figuur 21: Brekingswet volgens Snellius	2-31
Figuur 22: Multimode & Singlemode [11]	2-33
Figuur 23:MCVD-proces [25]	2-34
Figuur 24:OVD-proces [11]	2-35
Figuur 25:VAD proces [11]	2-35
Figuur 26: Dempingscurve [11]	2-36
Figuur 27: Verliezen in fibers	3-44
Figuur 28: Categorieën voor closures en componenten volgens IEC 61753-1 [14]	3-45
Figuur 29: Mindmap Conceptgeneratie [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41]	4-49
Figuur 30:Adhesive concept	4-50
Figuur 31: Adhesive: Opbouw 1	4-51
Figuur 32: Adhesive: opbouw 2	4-51
Figuur 33: Bezemsteelhouder [29]	4-52
Figuur 34: Chicane-concept	4-52
Figuur 35: Meer praktisch gericht chicane-concept	4-53
Figuur 36: Warteldoorsnede [31]	4-54
Figuur 37: Schets variant wartelprincipe	4-54
Figuur 38: Onion concept	4-55
Figuur 39:Rod Concept	4-56
Figuur 40: Heatshrink concept	4-56

Figuur 41: Toegepast heatshrink concept	4-57
Figuur 42: Foam concept	4-58
Figuur 43: Screw Concept (Kroonsteentje)	4-58
Figuur 44: Variant Screw Concept	4-59
Figuur 45: Relatie tussen trek/druk en veerkracht [42]	4-59
Figuur 46: Opbouw met meerdere verende plaatjes	4-60
Figuur 47: Spring concept uitgewerkt door Stephane Collaert	4-60
Figuur 48: Flextool Concept	4-61
Figuur 49: Product Toolflex® [45]	4-61
Figuur 50: Click-on Concept	4-62
Figuur 51: Click on in box	4-62
Figuur 52: Variant Click-on concept	4-63
Figuur 53: Twisted wire Concept	4-63
Figuur 54: Ingress Protection grades zoals beschreven in IEC-60529 [43]	4-64
Figuur 55: Potting van elektronica componenten [18]	4-65
Figuur 56: Sluiten van een Camera-sluiters [44]	4-66
Figuur 57: Multidiameter™-product van Roxtec [19]	4-67
Figuur 58: Rubber wall concept	4-67
Figuur 59: Mindmap na eliminatie van concepten	4-71
Figuur 60: Mindmap met combinatiemogelijkheden	4-72
Figuur 61: Laatste update Mindmap	4-73
Figuur 62: Samenvoegen van Foam en Click-on concept	4-74
Figuur 63: Verbeterd lijmconcept	4-75
Figuur 64: Eerste ontwerp van het wrijvingsconcept	5-77
Figuur 65: Box met fixatie- en sealingsysteem	5-78
Figuur 66: Hoog dummyonderdeel	5-79
Figuur 67: Laag dummyonderdeel	5-79
Figuur 68: Volledige opbouw van het eerste concept	5-79
Figuur 69: Installatie van één kabel in het wrijvingsconcept	5-81
Figuur 70: Opbouw trektest 0,75mm	5-81
Figuur 71: Meetresultaten van de trektesten met kabeldiameter 0,75mm	5-82
Figuur 72: Veralgemeende grafiek voor het gedrag van de kabel	5-83
Figuur 73: Gebruikte en ongebruikte foam: lengteverschil door compressie	5-83
Figuur 74: Gecomprimeerde foam tijdens trektest	5-84
Figuur 75: Opstelling trektest diameter 2,4mm	5-85
Figuur 76: Opbouw glasvezelkabel 2,4 mm zoals gebruikt in de test	5-85
Figuur 77: Trektesten op glasvezelkabels van 2,4mm	5-86
Figuur 78: Opbouw BFT	5-87
Figuur 79: BFT met foam ingespannen op Trekbank van CommScope	5-87
Figuur 80: Trektestresultaten BFT met foam	5-88
Figuur 81: Afscheuren van de lijmlaag.	5-88
Figuur 82: Opbouw van een rechthoekige glasvezelkabel	5-89
Figuur 83: Compressie van de foam bij rechthoekige kabel	5-89
Figuur 84: Trektestresultaten van een square cable	5-90

Figuur 85: Printrichting polyjet _____	5-91
Figuur 86: Polyjet 3D-printproces [46] _____	5-91
Figuur 87: Vergelijking trektesten en gebied waarin het systeem presteert _____	5-92
Figuur 88: Instron 5566 trekbank bij CommScope _____	5-94
Figuur 89: Rubbers op maat gesneden _____	5-95
Figuur 90: Vergelijking tussen trektest met foam en trektesten met rubber _____	5-96
Figuur 91: Trekresultaten en vergelijking met 2,4mm kabel met foam _____	5-97
Figuur 92: Mantelvervorming tijdens belasting _____	5-97
Figuur 93: Testresultaten en vergelijking tussen rubber en foam _____	5-98
Figuur 94: Selective Laser Sintering of SLS [47] _____	5-99
Figuur 95: Verbeteringen (rechts) ten opzichte van het oude onderdeel (links) _____	5-99
Figuur 96: Installatie van een kabel met aramidevezels in het verbeterd concept _____	5-100
Figuur 97: Testopstelling met statische gewichten. _____	5-100
Figuur 98: Verplaatsing kabel 1,2mm na 0 min. _____	5-101
Figuur 99: Verplaatsing kabel 1,2mm na 10 min. _____	5-101
Figuur 100: Verplaatsing kabel 1,5mm na 0 min. _____	5-101
Figuur 101: Verplaatsing kabel 1,5mm na 10 min. _____	5-101
Figuur 102: Verplaatsing kabel 2,4mm na 0 min. _____	5-101
Figuur 103: Verplaatsing kabel 2,4mm na 10 min. _____	5-101
Figuur 104: Verplaatsing kabel 3mm na 0 min. _____	5-101
Figuur 105: Verplaatsing kabel 3mm na 10 min. _____	5-101
Figuur 106: Verplaatsing kabel 4,3mm na 0 min. _____	5-101
Figuur 107: Verplaatsing kabel 4,3mm na 10 min. _____	5-101
Figuur 108: Tweede versie van het design _____	5-103
Figuur 109: Plooiende pennen bij 50N _____	5-103
Figuur 110: Slechte afdichting _____	5-104
Figuur 111: Montageprobleem in de box _____	5-104
Figuur 112: Verbeterd box-design _____	5-104
Figuur 113: Plaatsen van schroeven _____	5-105
Figuur 114: Afdichtingsgroef met afdichtingsmateriaal _____	5-105
Figuur 115: Uitbreekpoort in bestaand product. _____	5-106
Figuur 116: Conceptgeneratie voor het opvullen van de wand. _____	5-106
Figuur 117: Variant met holle balken _____	5-107
Figuur 118: Variant schuif als uitbreekpoort _____	5-107
Figuur 119: Solid dummy idee _____	5-108
Figuur 120: Stapelen van dummy's _____	5-108
Figuur 121: Schuif-en-klik mogelijkheid _____	5-109
Figuur 122: Snap-on mogelijkheid _____	5-109
Figuur 123: Mogelijkheid met extra onderdeel _____	5-109
Figuur 124: Montage met perspassing _____	5-110
Figuur 125: 'Pressure-pin'-verbinding _____	5-110
Figuur 126: Gebruik van dummy's bij het opvullen van ongebruikte plaatsen. _____	5-111
Figuur 127: Laatste stuk opvullen met eindstukken _____	5-111
Figuur 128: Installatie van een kabel in de tweede iteratie. _____	5-112

Figuur 129: Testopstelling voor de trektesten van de tweede iteratie	5-112
Figuur 130: Verplaatsing kabel 1,2mm na 0 min.	5-113
Figuur 131: Verplaatsing kabel 1,2mm na 10 min.	5-113
Figuur 132: Verplaatsing kabel 1,5mm na 0 min.	5-113
Figuur 133: Verplaatsing kabel 1,5mm na 10 min.	5-113
Figuur 134: Verplaatsing kabel 2,4mm na 0 min.	5-113
Figuur 135: Verplaatsing kabel 2,4mm na 10 min.	5-113
Figuur 136: Verplaatsing kabel 3mm na 0 min.	5-113
Figuur 137: Verplaatsing kabel 3mm na 10 min.	5-113
Figuur 138: Verplaatsing kabel 4,3mm na 0 min.	5-113
Figuur 139: Verplaatsing kabel 4,3mm na 10 min.	5-113
Figuur 140: Samenvatting van de IPx5-procedure	5-114
Figuur 141: Wetzone na de IPx5-test	5-115
Figuur 142: Procedure van IP5x-test	5-115
Figuur 143: Resultaten IP5x-test	5-116
Figuur 144: Verbetering van dummy	5-117
Figuur 145: Draaien van het deelvlak	5-117
Figuur 146: Sealing geïntegreerd in de cover.	5-118
Figuur 147: IPx5-testopstelling	5-120
Figuur 148: Onderdompelen van het systeem.	5-120
Figuur 149: Zeecontainer 1 met temperatuurregeling	5-121
Figuur 150: Binnenkant van de container en montage van het te testen onderdeel.	5-121
Figuur 151: Gedrag van de rubber bij hogere temperaturen.	5-122
Figuur 152: Test op -15°C	5-123
Figuur 153: Design van het volledige systeem met lijm	6-125
Figuur 154: Eerste versie van de statische mixer	6-126
Figuur 155: Eerste testresultaten van de statische mixer	6-127
Figuur 156: Re-design van de statische mixer	6-127
Figuur 157: Traces bij de tweede simulatie	6-128
Figuur 158: Statische mixer met aansluitingen voor injectiespuiten	6-128
Figuur 159: Geprinte onderdelen om te testen met injectiespuiten.	6-129
Figuur 160: Onderdeel doorlicht met leds	6-129
Figuur 161: Onverdunde verf in de statische mixer.	6-129
Figuur 162: Resultaat na eerste verdunning.	6-130
Figuur 163: Van links naar rechts: Openblazen van het resultaat.	6-130
Figuur 164: Resultaten na het extreem verdunnen van de verf.	6-130
Figuur 165: Van links naar rechts: Alsmar beter geprinte statische mixer. De uiterst rechtse is correct geprint.	6-131
Figuur 166: Huidige fixatie en sealing	7-133
Figuur 167: Poka Yoke-ontwerp	7-134
Figuur 168: Montage richting in de z-as	7-135
Figuur 169: Uitgeholde dummy	7-138

Abstract

Ontwikkeling van een modulair systeem dat het fixeren en afdichten van glasvezelkabels combineert.

CommScope te Kessel-lo produceert behuizingen waarin glasvezelverbindingen worden gemaakt. Het bedrijf wil in hun toekomstige producten een nieuw systeem implementeren dat glasvezelkabels fixeert en afdicht. Het nieuwe systeem zal beide moeten gaan combineren met zo weinig mogelijk onderdelen en moet eveneens modulair opgebouwd worden in de wand van de behuizingen die het bedrijf ontwikkelt. Aan de hand van een Product Requirement Document (PRD) wordt het uiteindelijke design afgetoetst. Dit wordt gedaan door middel van trektesten, IPx5- testen en IP5x- testen.

Het ontwerpen van een nieuw systeem start met een 'blue sky'-conceptgeneratie waarin de meest uiteenlopende ideeën verzameld worden. Alle concepten worden gequoteerd op eisen uit de PRD en worden aan de hand daarvan al dan niet geëlimineerd. De betere concepten van zowel fixatie als sealing worden dan gecombineerd tot één systeem. Op basis van expertanalyse worden twee concepten over gehouden. De ontwerpen worden 3D-geprint en mechanisch getest.

De testen tonen aan dat één uitgewerkt design aan de mechanische eisen van de PRD voldoet. Enkel een bepaald type kabel ondervindt problemen bij hogere temperaturen. Het design is een systeem met hooguit twee verschillende onderdelen dat ook modulair is. De overige eisen in de PRD werden eveneens getoetst aan het design met positieve resultaten.

Abstract in English

Development of a modular system that combines fixation and sealing of glass fibre cables

CommScope Kessel-Lo produces boxes in which fiber connections are made. The company wants to implement a new system that fixates and seals fiber optic cables in their future products. The new system will have to combine both with as few parts as possible and should also be constructed in the wall of the boxes as modular building blocks. On the basis of a Product Requirement Document (PRD), the final design is being tested. This is done by means of tensile tests, IPx5- and IP5x- tests.

Designing a new system starts with a 'blue sky' concept generation in which the most diverse ideas are collected. All concepts are graded on demand from the PRD and may or may not be eliminated on the basis thereof. The better concepts of both fixation and sealing are then combined into a single system. Based on expert analysis, two concepts are held over. The designs are 3D-printed and mechanically tested.

The tests show that a detailed design meets the mechanical requirements of the PRD. Only one cable type does not meet the requirements at a certain higher temperature. The design is a system with no more than two different parts that is also modular. The other requirements of the PRD were also tested and show positive results.

Inleiding

1 Situering

Als laatstejaarsstudent in de gemeenschappelijk opleiding Industriële Ingenieurswetenschappen van de Universiteit Hasselt en de Katholieke Universiteit Leuven kreeg ik de kans om mijn masterproef te realiseren bij CommScope. Dit bedrijf is gespecialiseerd in telecommunicatie en is één van de grote bedrijven in deze sector.

In deze masterproef worden productieprocessen van optische vezels toegelicht. Net als de werking optische vezels en de opbouw van glasvezelnetwerken. Ook de samenstelling van de meest courante glasvezelkabels wordt toegelicht.

1.1 Geschiedenis en evolutie van het bedrijf [1]

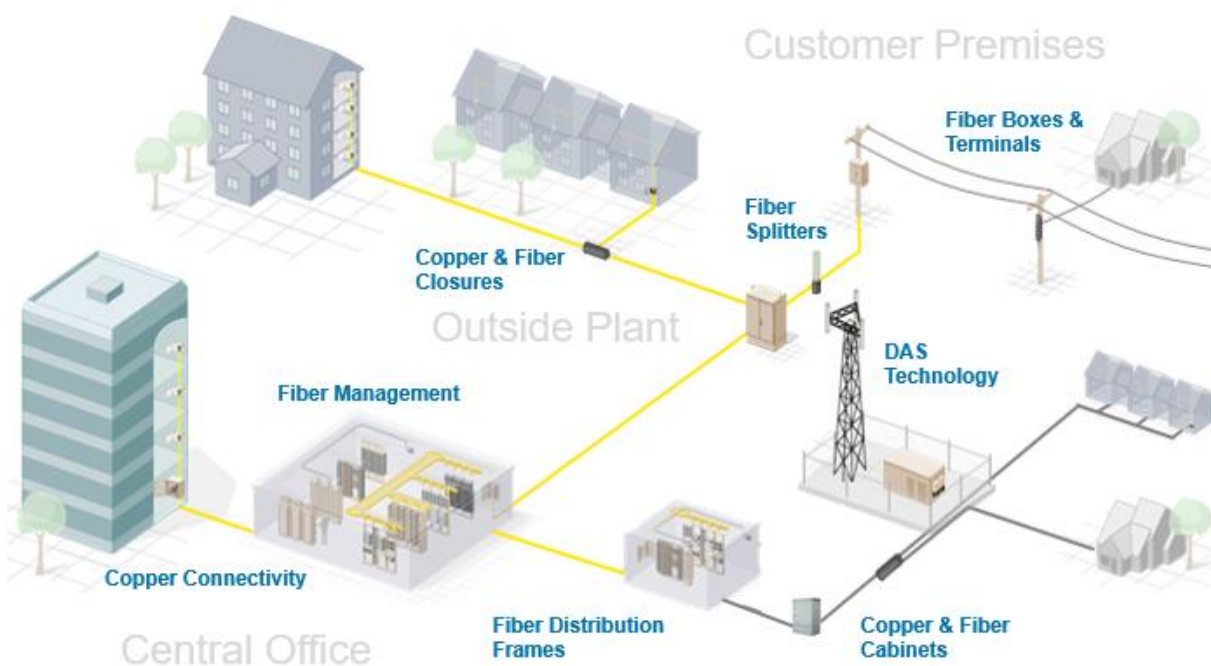
In 1957 richtte Paul Cook, James B. Meikle en Richard W. Muchmore het bedrijf Raychem op in Californië. Het bedrijf was een spin-off van de onderzoeksinstituut SRI International in Californië en had ervaring met nucleaire stralingstechnieken in de chemische sector. Met deze technieken ontwikkelde Raychem polymeren met een geheugenfunctie. Door het polymeer op te warmen wordt de geheugenfunctie geactiveerd en krimpt het materiaal. Polymeren met geheugenfunctie werden eerst gebruikt in luchtvaart en militaire toepassingen. [2] Maar al snel werden thermisch krimpbare producten ontwikkeld door Raychem die meer commercieel gericht waren op elektronische toepassingen.

Het bedrijf was één van de snelst groeiende bedrijven uit de Verenigde Staten op dat moment. Tegen 1980 breidde Raychem uit naar meer dan 30 landen waaronder België, met een vestiging in Kessel-lo. Later, in 1999, werd Raychem overgenomen door Tyco International dat na acht jaar splitste in drie aparte bedrijven: Tyco International, TE Connectivity (vroeger Tyco Electronics, deels gevestigd in Kessel-lo) en Covidien. In 2015 nam CommScope op zijn beurt een onderdeel van TE Connectivity over.

CommScope helpt bedrijven over de hele wereld met het design en beheren van hun draadloze en bekabelde netwerken. Hun portfolio van netwerk infrastructuur bevat sommige van de meest robuuste en innovatieve draadloze en optische vezel oplossingen. Het bedrijf helpt zijn klanten om de bandbreedte van het netwerk te verhogen. Ook het maximaliseren van huidige capaciteit, het netwerkvermogen en de bereikbaarheid. Het verhogen van de energie-efficiëntie en de migratie van technologie vergemakkelijken behoort ook tot de specialisaties van het bedrijf. De oplossingen van CommScope worden gebruikt in de grootste gebouwen en locaties (zowel binnen- als buitenshuis). [3]

1.2 Broadband Network Solutions

Het deel dat overgenomen werd door CommScope en nog steeds in Kessel-lo gevestigd is, is de 'Broadband Network Solutions'-sectie (kortweg: BNS) van TE Connectivity. De BNS-eenheid ontwerpt en ontwikkelt behuizingen waarin aftakkingen en connecties gemaakt kunnen worden met andere delen van het netwerk. Afhankelijk van waar de producten in de netwerkomgeving geplaatst worden, is er een onderscheid gemaakt tussen de producten. De producten die ondergronds geplaatst worden (OSP of OutSide Plant) en de producten die bovengronds geplaatst worden (ISP of InSide Plant) hebben qua opbouw en specificaties te veel verschillen. Daarom is de BNS-eenheid van CommScope opgedeeld in twee departementen met elk een eigen specialisatie in ISP- en OSP-producten. Onderstaande figuur illustreert de omgeving waar de producten toegepast worden.



Figuur 1: Netwerktopologie [4]

OSP-behuizingen, zoals hieronder worden afgebeeld, zijn vooral bedoeld om connecties te maken, te sluiten, te begraven en alleen bij problemen terug open te maken. In de vele gevallen zullen deze begraven blijven voor 30 jaar of langer. Waterdichtheid is dus een de belangrijkste eigenschap.



Figuur 2: OSP producten [4]

De producten van Raychem, zoals in figuur 2, links bovenaan, zijn nog steeds vrij populair en worden door klanten nog steeds graag gebruikt. Dit dankzij de garantie voor waterdichtheid die deze producten kunnen halen.

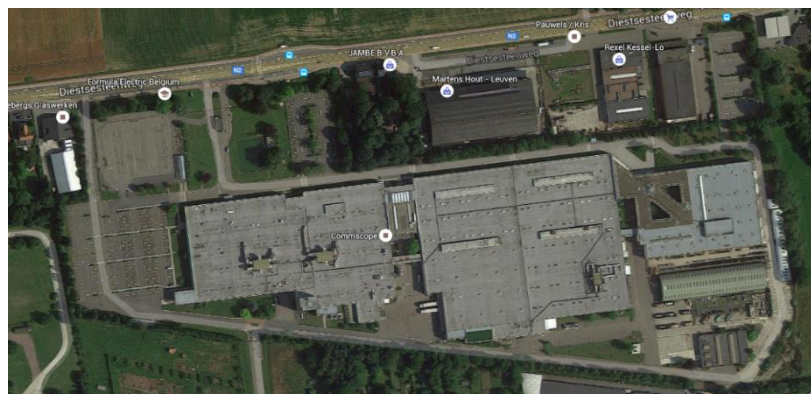
Daarnaast zijn er de ISP-producten die voor bovengronds gebruik ontworpen zijn. De plaatsing gebeurt dus voornamelijk in huizen of kantoorgebouwen maar ook buitenshuis aan palen. Deze behuizingen zijn zeer flexibel als het gaat om extra verbindingen te maken of om verbindingen te verbreken. Ze zijn over het algemeen voorzien van een scharnier waarvan de werking niet beïnvloed wordt door onzuiverheden zoals zand, stof,... en zodoende een groot aantal keer geopend en gesloten kan worden zonder dat het scharnier sluitkracht verliest. Ook moeten deze behuizingen voldoen aan een bepaalde IP-graad om vocht en vuil buiten te houden. In het geval van ISP worden de behuizingen ook wel 'boxen' genoemd. In figuur 3 worden de behuizingen afgebeeld.



Figuur 3:ISP-producten [4]

1.3 Ligging van het bedrijf

Het bedrijf is gelokaliseerd in Kessel-lo te Leuven. Raychem was het eerste bedrijf dat daar gevestigd was en bouwde een groot bedrijf uit. Vanwege de ligging is het prima bereikbaar. TE Connectivity stelde een klein deel van deze locatie ter beschikking voor de projecten van de KULeuven. Het Formula Group T - team bouwde hier de wagens waarmee de Formula Student Competition werd gereden. [5]. Na de overname zal ook CommScope dit project blijven steunen als Gold Partner. [5] Onderstaande figuur toont een satellietfoto van het bedrijf.



Figuur 4: Ligging van CommScope [27]

1.4 FTTH- (Fiber To The Home) netwerk

Een FTTH-netwerk vormt een glasvezel-gebaseerde toegang tot een netwerk. Dit netwerk verbindt een groot aantal eindgebruikers met een centraal punt dat ook wel gekend is als een 'access node' of 'point of presence' (POP). Elke POP binnen een gemeenschap of regio is verbonden met een groter stedelijk netwerk. Elk van deze punten is voorzien van actieve, elektronische zendapparatuur om de nodige toepassingen en diensten te voorzien naar de eindgebruiker toe.

Toegangsnetwerken kunnen de volgende netwerkkonderdelen met elkaar verbinden [6]:

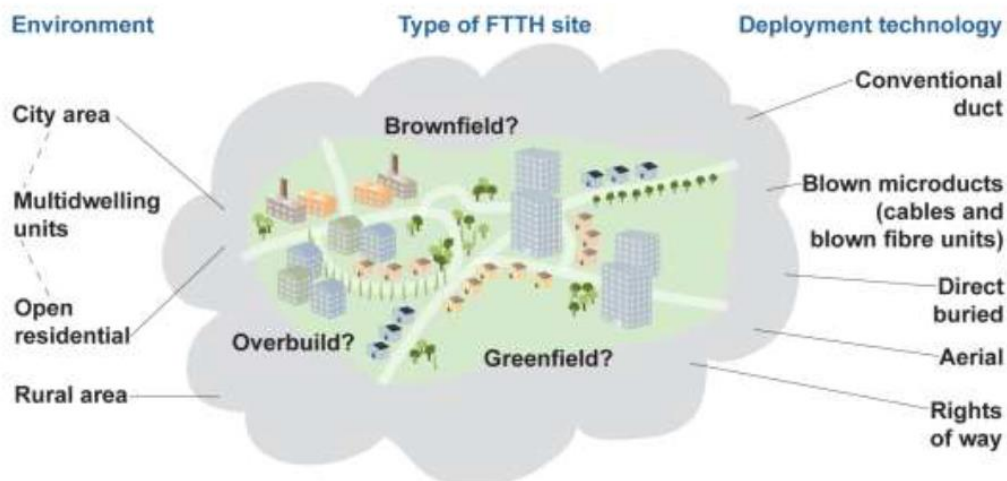
- 🔵 Antennes die draadloze verbindingen mogelijk maken in het netwerk (draadloze LAN of WiMAX (breedbandige draadloze netwerken met middelgroot bereik [7]))
- 🔵 Mobiele netwerk basisstations
- 🔵 Gebruikers in SFUs (Single Family Units) of MDUs (Multi-Dwelling Units)
- 🔵 Grotere gebouwen zoals scholen, ziekenhuizen en bedrijven
- 🔵 Beveiligings- en monitoringsapparaten zoals beveiligingscamera's, alarm en bedieningstoestellen.

Het FTTH kan een onderdeel zijn van een grotere oppervlakte of toegangsnetwerk.

[6]

1.5 De omgeving van een FTTH-netwerk

Het toepassen van een optisch vezelnetwerk dat dichterbij de eindgebruiker komt, kan er voor zorgen dat de infrastructuur geplaatst wordt op publieke of private gronden of binnenin publieke of private eigendommen.



Figuur 5: Omgeving van een FTTH netwerk [6]

De fysieke omgeving kan opgedeeld worden in:

- 🔵 Stad
- 🔵 Open woonomgeving
- 🔵 Landelijk
- 🔵 Bouwtype en dichtheid zoals alleenstaande huizen of appartementsblokken

Deze verschillen in fysieke omgevingen zijn niet alleen verantwoordelijk voor de verschillen in gebruikersdichtheden (per km²), ook de landelijke condities moeten in acht genomen worden.

De aard van de site is ook een sleutelfactor in het bepalen welk netwerkontwerp het meest geschikt is. De aard van de site kan onderverdeeld worden in een drietal types:

- 🌀 Greenfield: Nieuwbouw waar het netwerk tegelijkertijd met de aanbouw van nieuwe gebouwen wordt geplaatst;
- 🌀 Brownfield: De gebouwen zijn al reeds gebouwd maar de infrastructuur is van een lage standaard;
- 🌀 Overbuild: Toevoegen aan de huidige infrastructuren;

De grootste invloeden op de methode van de implementatie van een infrastructuur zijn:

- 🌀 Het type van FTTH-site
- 🌀 Groote van het FTTH Netwerk
- 🌀 Initiële kost van de implementatie (CAPEX)
- 🌀 Kosten voor het operationeel houden van het netwerk en de onderhoudskosten (OPEX)
- 🌀 Netwerkarchitectuur
- 🌀 Lokale omstandigheden (arbeidskosten, verkeer, ...)

De keuze voor vezelimplementatie bepaalt CAPEX en OPEX net als de betrouwbaarheid van het netwerk. Deze kosten kunnen geoptimaliseerd worden door het kiezen van de meest geschikte, actieve oplossing gecombineerd met de meest gepaste methodologie qua infrastructuur-implementatie. Deze methodes, die later beschreven worden, houden het volgende in :

- 🌀 Conventionele buis en kabel, die ondergronds geplaatst worden;
- 🌀 Blown-fibers en kabels,
- 🌀 Kabels die direct begraven worden;
- 🌀 Kabels die bovengronds (aerial), aan palen worden bevestigd;

De meest functionele sleutel-eigenschappen voor een FTTH-netwerk houden in:

- 🌀 Voorzien van een hoge bandbreedte-verbinding naar elke eindgebruiker;
- 🌀 Een flexibel netwerk dat aangepast kan worden aan behoeften in de toekomst;
- 🌀 Een directe vezelverbinding naar elke eindgebruiker met het oog op een maximaal mogelijke capaciteit in toekomstige toepassingen
- 🌀 Ondersteuning voor toekomstige netwerken-upgrades en uitbreidingen van het netwerk;
- 🌀 Minimale verstoring tijdens de implementatie van het netwerk, om de voordelen van vezelverbindingen aantrekkelijk te maken voor de netwerkeigenaars en zo de eindgebruiker te laten beschikken over de voordelen ervan.

Wanneer een FTTH-netwerk ontworpen en gebouwd wordt is het noodzakelijk de nadelen en uitdagingen te kennen inzake netwerkeigenaars en exploitanten. Deze uitdagingen kunnen conflicten veroorzaken tussen economische en functionele eisen.

[6]

2 Literatuurstudie

Om deze industrie beter te begrijpen werd tijdens deze masterproef een literatuurstudie uitgevoerd. Hierin worden meerder onderwerpen uitgediept die te maken hebben met netwerken, glasvezelverbindingen en glasvezels zelfs.

2.1 FTTx-netwerkarchitecturen

Variaties op de hierboven vermelde basis netwerkarchitectuur zijn mogelijk. Dit hangt af van het aantal vezels, de positie van splitters (aftakpunten) en aggregatiepunten. Het juiste netwerk kiezen voor een bepaalde toepassing is vaak voor discussie vatbaar omdat van onderstaande mogelijkheden geen optie overduidelijk beter is dan de andere. Het kiezen van een netwerkstructuur is louter afhankelijk van de keuze die de exploitant maakt.

[6]

2.1.1 *Fiber to The home (FTTH)*

Een eerste structuur is **Fiber to the home of FTTH**. In deze structuur is elke eindgebruiker verbonden met het netwerk met één enkele toegewezen vezel. Deze wordt rechtstreeks aangesloten op een POP of een passieve optische splitter, gebruikmakende van een gedeelde feedervezel naar de POP. De transmissie van gegevens in dit netwerk gebeurt typisch met een protocol dat 100Mb of 1000Mb per seconde kan overdragen (100BASE-BX10 of 1000BASE-BX10). In het geval van 1000Mb per seconde spreekt men van GPON(Gigabit Passief Optisch Netwerk).

[6]

2.1.2 *Fiber To The Building (FTTB)*

Elke optische terminatiebox in het gebouw (meestal geplaatst in de kelder) is verbonden met een poort in de POP door middel van één enkele toegewezen vezel. Deze verbinding kan eveneens tot stand gebracht worden met een optische splitter die gebruik maakt van een gedeelde feedervezel naar de POP. De verbindingen tussen eindgebruiker en de netwerkvoorzieningen in het gebouw zijn geen optische vezels maar vaak kopergeleidingen en bieden enige vorm van Ethernet transport om compatibel te zijn met het medium van de verticale verbinding door het gebouw. In sommige gevallen zijn de aansluitingen voor de gebouwen niet individueel verbonden met de POP, maar zijn eerder onderling verbonden in een ketting-of ringstructuur. Dit om bestaande verbindingen te kunnen gebruiken in nieuwe topologieën. Hierdoor kunnen vezels uitgespaard worden. Het concept om vezels direct binnen brengen in de woning, rechtstreeks vanuit de POP of door het gebruik van optische splitters, *zonder* het gebruik van schakelaars in het gebouw brengt ons weer naar het FTTH-principe.

[6]

2.1.3 *Fiber To The Curb (FTTC)*

Elke schakelaar of DSLAM (DSL-access multiplexer), vaak geplaatst in een cabinet op straat, is verbonden met de POP met één enkele vezel of een vezelpaar. Deze verbinding

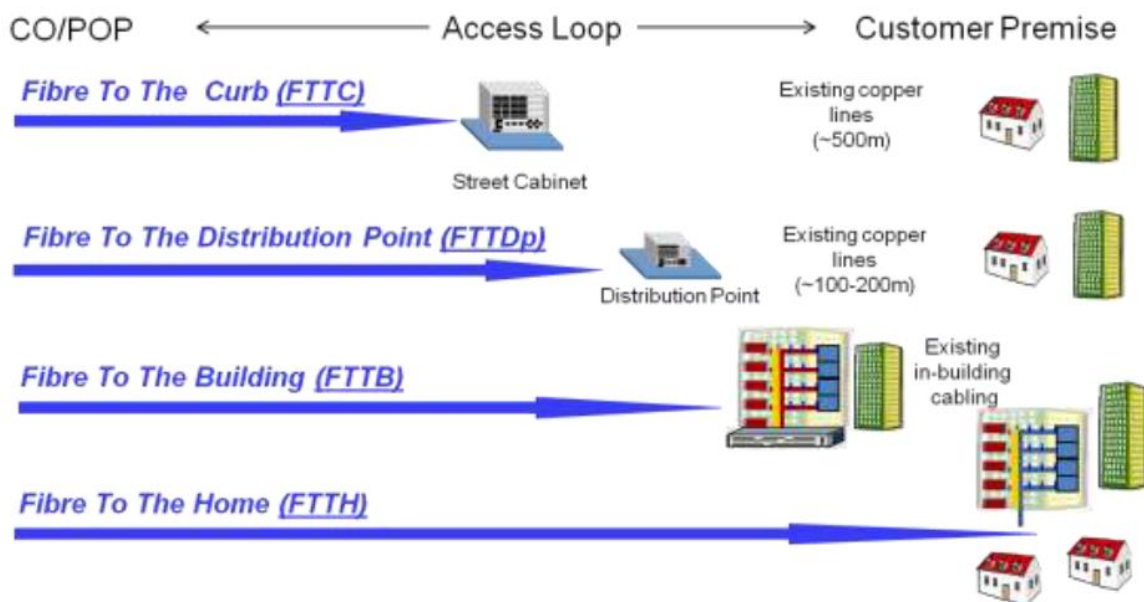
transporteert het netwerkverkeer van de buurt doorheen een Gigabit Ethernet of 10 Gigabit Ethernet verbinding. De schakelaars in de cabinets op straat zijn niet opgebouwd uit optische vezels maar zijn gebaseerd op het bestaande kopernetwerk, gebruikmakend van VDSL of VDSL 2 (Very High Speed Digital Subscriber Line 2) [8].

[6]

2.1.4 Fiber To The Distribution Point (FTTDp) [6]

Deze oplossing wordt de voorbije drie jaar voorgesteld. Met dit principe wordt de POP verbonden met het distributiepunt door middel van een optische vezel. Hierna wordt het distributiepunt verbonden met de gebouwen van de klanten door middel van bestaande kopernetwerken. Distributiepunten kunnen dropboxen zijn die bevestigd zijn aan palen of zich bevinden in een kelder. Deze architectuur kan VDSL ondersteunen in de 'last mile'. Deze term beschrijft het laatste stuk verbinding tussen de cabinets en de distributiebehuizingen in een gebouw.

[6]



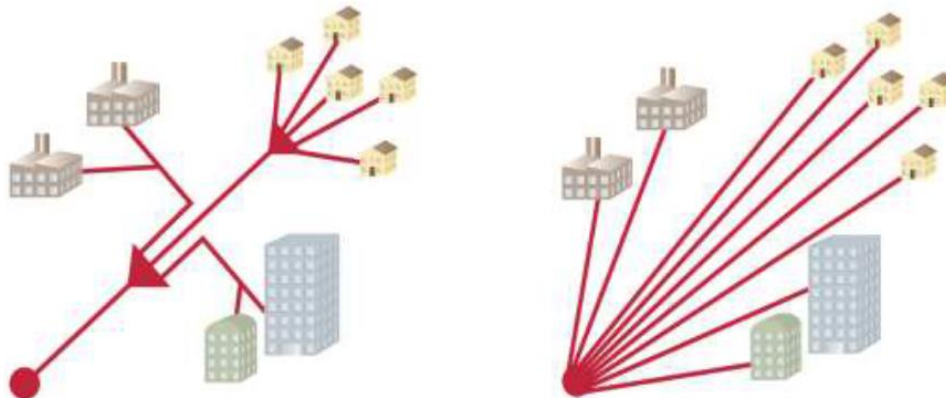
Figuur 6: Overzicht FTTx netwerken [6]

2.2 FTTH-topologie en technologie

De netwerkarchitectuur refereert naar het ontwerp van een communicatienetwerk en voorziet een raamwerk voor de specificaties van het netwerk, van fysieke componenten tot diensten. Het acces netwerk is het stuk van het communicatienetwerk dat direct verbonden is met de eindgebruikers

Om te specificeren hoe de interactie verloopt tussen een passieve en actieve infrastructuur, is het belangrijk een onderscheid te maken tussen de topologieën die gebruikt worden voor de implementatie van optische vezels (passieve infrastructuur) en de technologie die gebruikt wordt om data te transporteren doorheen de vezels (actieve apparatuur).

De twee meest gebruikt topologieën zijn point-to-multipoint en point-to-point. De eerste wordt vaak gebruikt bij passief optisch netwerk (PON) technologie. Point-to point wordt dan weer vaak toegepast bij Ethernet transmissie technologie.



Figuur 7: links: point-to-multipoint, rechts: point-to-point [6]

Point-to-multipoint topologieën (P2MP) voorziet één enkele vezel vanuit de central office (of POP) naar een aftakpunt. Van daaruit worden individuele eindgebruikers voorzien van een eigen toegewezen vezelverbinding. Een passief optisch netwerk zoals GPON maakt gebruik van passieve optische splitters in de aftakpunten. Eveneens is de data gecodeerd zodat de eindgebruiker enkel de data ontvangt die voor hem bedoeld is.

Actieve Ethernet technologie kan ook gebruikt worden om de toegankelijkheid van eindgebruikers te controleren. Er moeten dan echter Ethernet schakelaars in de field geplaatst worden. Elke eindgebruiker heeft een eigen logische point-to-point verbinding en ontvangt en verzendt enkel de data die voor hem bedoeld is.

Point-to-point topologieën (P2P) voorziet toegewezen vezels tussen eindgebruiker en central office (POP of acces node) zodat de eindgebruiker via zijn eigen verbinding rechtstreeks in verbinding staat met een central office (CO). Het pad van de CO naar de eindgebruiker bestaat hoogstwaarschijnlijk uit optische vezels die niet overal dezelfde diameter hebben. Deze verschillende vezels worden met elkaar verbonden door splices of connectoren. Het pad blijft echter wel volledig optisch van acces node naar eindgebruiker.

De meeste point-to-point FTTH implementaties maken gebruik van Ethernet, dat gemixt kan worden met andere transmissieschema's voor bedrijfstoeepassingen (zoals SONET waar meerdere bit-stromen doorheen één vezel worden gestuurd [9]). Deze topologie kan ook PON inhouden door een passieve optische splitter in de CO te plaatsen.

Wat de architectuur van het netwerk ook is, het blijft belangrijk in gedachte te houden dat de keuze van de architectuur invloed kan hebben op de evolutie van het netwerk in de toekomst. Een FTTH-netwerk is een investering over een lange periode en de verwachte levensduur van een glasvezelkabel die hiervoor voorzien wordt is op z'n minst 25 jaar. Ook zal de uitrusting gedurende de levensduur een aantal keer geüpgrade moeten worden om bij te blijven met de continu evoluerende techniek. Het moet dus

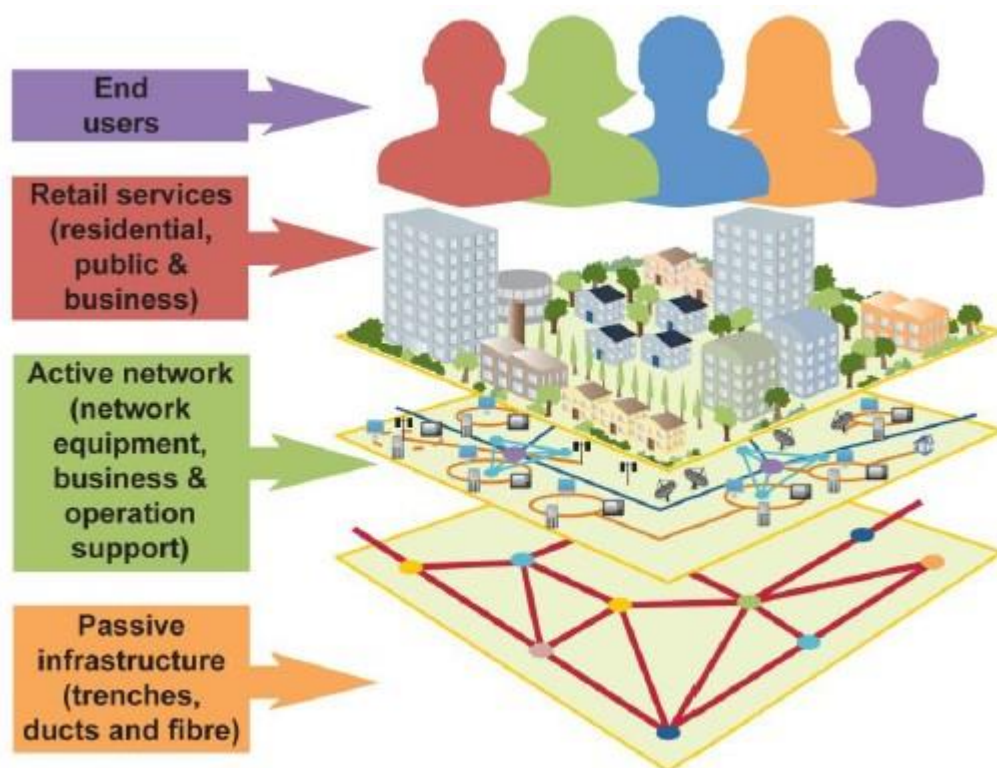
mogelijk zijn om de geplaatste infrastructuur te blijven gebruiken. Dit zorgt ervoor dat de keuze van een netwerk van groot belang is en absoluut consequenties heeft in de toekomst.

[6]

2.2.1 Netwerklagen

Een FTTH netwerk kan een aantal lagen bevatten [6]:

- 🌐 De passieve infrastructuur dat betrekking heeft tot buizen, vezels, enclosures, en andere outside plants;
- 🌐 Het actieve netwerk dat elektrische apparatuur gebruikt;
- 🌐 De consumentendienst die internetverbinding voorziet;
- 🌐 De eindgebruiker



Figuur 8: FTTH netwerk lagen [10]

Deze technologische structuur heeft gevolgen op de manier waarop een FTTH-netwerk is georganiseerd. Bijvoorbeeld:

Passieve infrastructuur heeft te maken met de fysieke elementen die gebruikt worden in de opbouw van een netwerk. Dit gaat van optische vezels, buizen en closures tot splicing-schuiven en zo voort. De organisatie die voor deze laag verantwoordelijk is, is ook verantwoordelijk voor de netwerk routeplanning en de werken die nodig zijn om de vezels te leggen.

[6]

Actieve netwerk heeft betrekking tot de elektrische apparatuur die nodig is om de passieve infrastructuur tot leven te wekken. Ook de operationele ondersteuning die nodig is om de verbinding te commercialiseren is de verantwoordelijkheid binnen deze laag. De verantwoordelijken in deze laag staan in voor het ontwerp, de bouw en het bedienen van de actieve kant van het netwerk.

Consumentendiensten raken betrokken met het netwerk wanneer het passieve en actieve gedeelte functioneel is. Deze laag is waar standaard internetverbindingen en andere diensten worden voorgesteld aan klanten en bedrijven. Naast technische ondersteuning, moet het bedrijf dat verantwoordelijk is voor deze laag ook zorgen voor toe-eigenen van klanten, strategieën om de markt te bereiken en klantendienst [6]

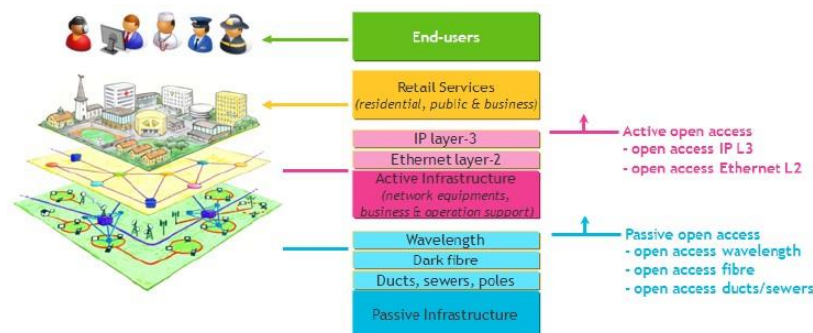
2.3 Open acces netwerken

De term open acces houdt in dat het netwerk toegankelijk moet zijn voor andere klanten buiten de eigenaar van het netwerk en dit onder een overeenkomst die niet discriminerend is. Met andere woorden, de prijs voor alle klanten is dezelfde en hopelijk minder dan de prijs voor het aanleggen van een nieuwe infrastructuur.

In de context van telecommunicatienetwerken betekent “open acces” dat de toegang tot het netwerk gegarandeerd moet zijn voor meerder dienstverleners. Deze kunnen hun diensten verkopen via het “open acces netwerk” zonder hun eigen vezels te hoeven plaatsen. De prijs voor dienstverleners is ook gelijk voor alle dienstverleners. De producten die in het groot verkocht worden, worden aangeboden op verschillende lagen van het netwerk afhankelijk van het type open acces model

Passief open acces infrastructuur zoals buizen, kabelgoten, dark fiber (niet geactiveerde vezels), palen en golfengtes geven telecommunicatiebedrijven de mogelijkheid om hun passieve infrastructuur te laten gebruiken door andere bedrijven die op hun beurt hun eigen infrastructuur plaatsen op het passieve deel dat ze mogen gebruiken.

Actieve open acces infrastructuur zoals Ethernet laag-2 en IP laag-3 maken het mogelijk voor verdelers van diensten om residentiele, zakelijke en publieke diensten te delen via een actieve infrastructuur die is gebouwd door iemand die de passieve infrastructuur



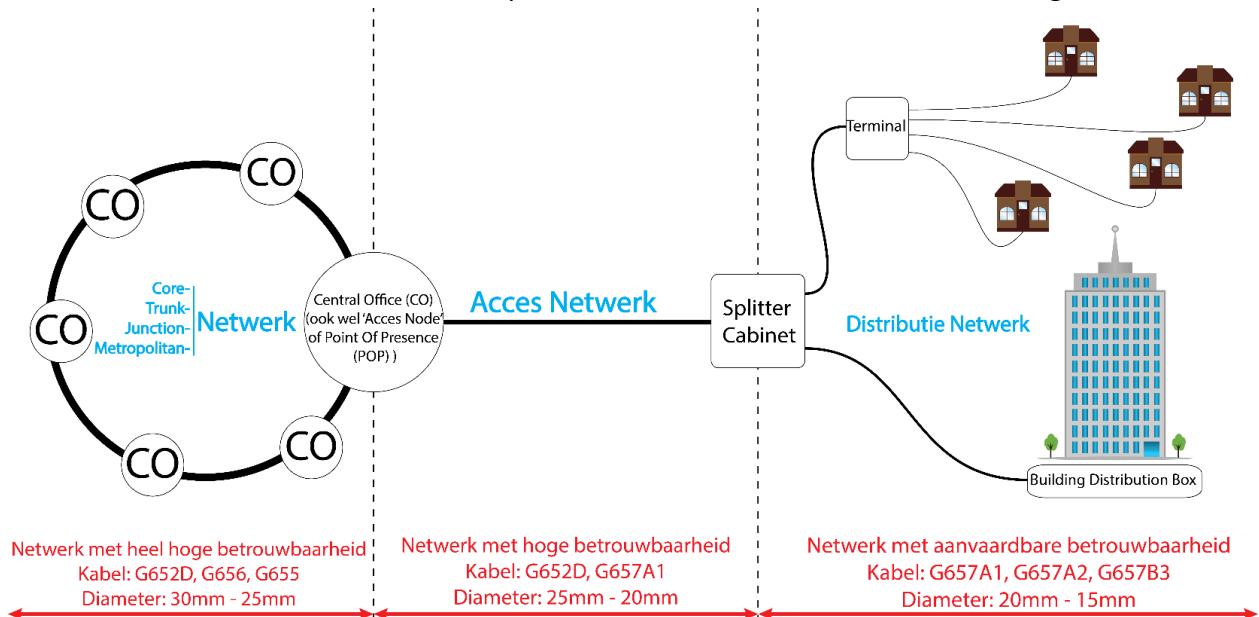
Figuur 9: Open acces modellen [10]

heeft geplaatst en bestuurd wordt door iemand die de actieve infrastructuur geplaatst heeft.

[6]

2.4 Optische vezelkabels

Onderstaande figuur toont het betrouwbaarheidsniveau waaraan de verbinding in het netwerk dient te voldoen. Wanneer het netwerk zich dichterbij de eindgebruiker bevindt, wordt de betrouwbaarheid minder (minder is hier nog steeds heel betrouwbaar). De reden waarom de betrouwbaarheid minder is, is het feit dat wanneer er een fout optreedt in de verbinding, de gevolgen voor meerdere eindverbruikers beperkt blijven. Wanneer er bij een Core-netwerk een verbinding faalt, zal dit voor veel meer eindverbruikers problemen veroorzaken dan wanneer dit gebeurt



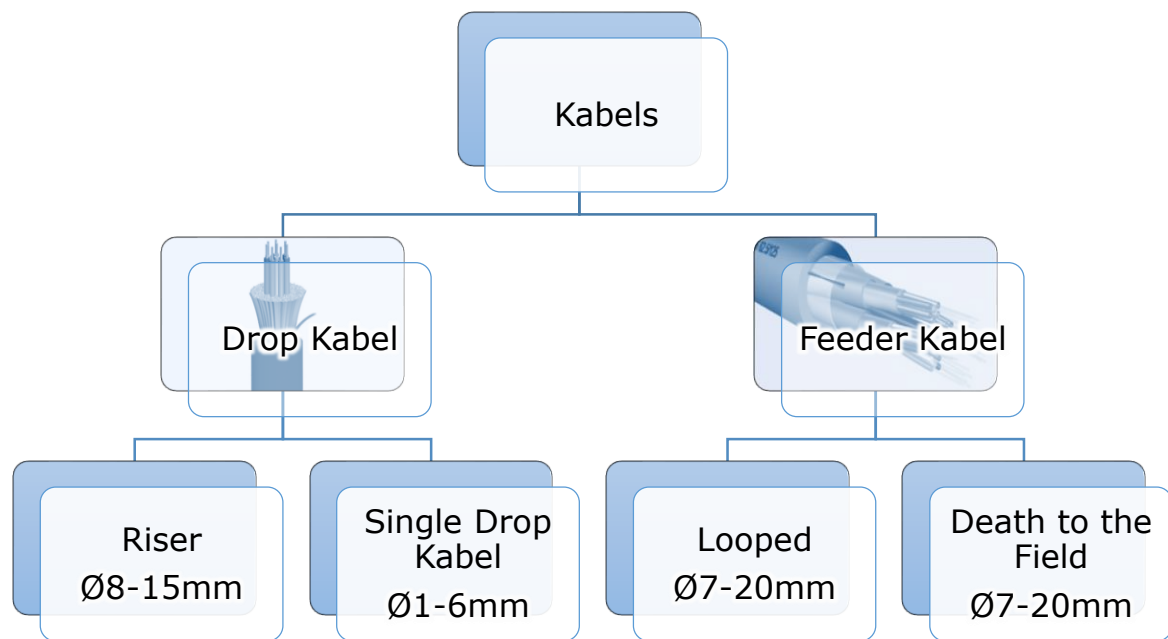
Figuur 10: Betrouwbaarheidsniveau van optische vezelverbindingen

in het distributienetwerk.

Om de betrouwbaarheid te garanderen zullen de verbindingen gemaakt worden met optische vezelkabels die deze betrouwbaarheid kunnen garanderen.

[6]

2.4.1 Kabels in het distributienetwerk



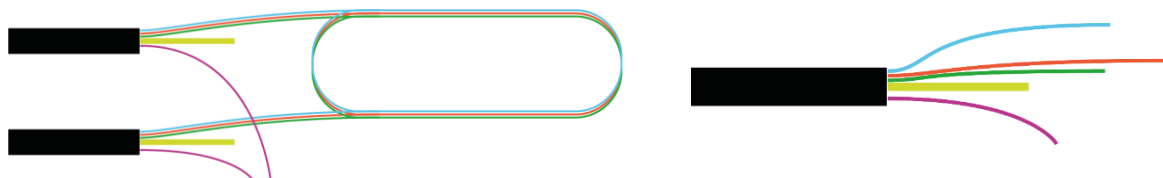
Figuur 11: Kabeloverzicht

Bij het plaatsen van behuizingen in het distributienetwerk, worden bovenstaande termen gebruikt om het gebruik van de kabels te benoemen. Elke term verduidelijkt de functie van een kabel en de manier waarop de kabel gemonteerd wordt.

2.4.2 Feederkabel

Deze kabels zijn de kabels die een behuizing binnenkomen. Ze zijn afkomstig van een hoger gelegen niveau in het netwerk. Zo komt er bijvoorbeeld een 'feeder-kabel' van een 'Central-Office' naar een plaats in een kelder onder appartementen.

Deze kabel kan volgens twee principes gemonteerd worden. Enerzijds is er het Looped-principe. Bij dit principe komt de kabel binnen in de behuizing maar wordt niet volledig doorgeknipt. De kabel wordt wel ontdaan van de isolatie zodat de aparte tubes en de 'strength-member' zichtbaar worden. Daarna wordt er één enkele tube (of een aantal tubes) uit de bundel gehaald om af te takken in de behuizing. De rest van de tubes wordt in een ruime lus opgerold en ook in de behuizing geplaatst.



Figuur 12: Looped installatie en Death To The Field installatie

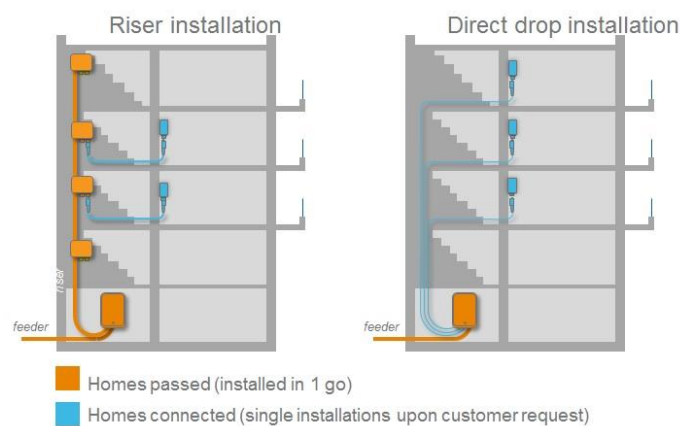
Als tweede mogelijkheid kan de kabel 'Death To The Field' geplaatst worden. Deze methode wordt toegepast als de feeder-kabel in de laatste behuizing binnenkomt en geïnstalleerd wordt als zijnde de laatste aftaking van de feeder in het netwerk.

Feeder kabels worden vaak geïnstalleerd als 'install-and-forget' wat betekent dat een instantie ze plaatst met de bedoeling in de toekomst geen wijzingen meer aan te brengen aan deze kabel.

2.4.3 Dropkabel

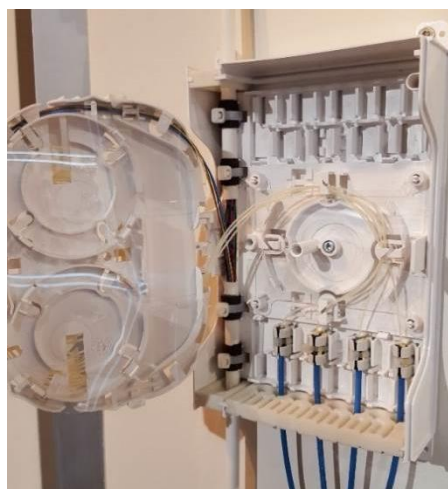
Naast de feeder-kabels zijn er ook dropkabels, deze zijn vooral bedoeld om de laatste verbinding naar de eindverbruiker te leggen. Dropkabels onderscheiden zich van de feederkabels doordat ze meestal uit enkele glasvezels bestaan en geen grote aantallen van vezels bevatten. Ook voor deze kabels zijn er twee principes die het meeste worden toegepast, nl:

- 🔄 Riser
- 🔄 Direct Drop



Figuur 13: Riser en Direct drop installatie

Links in figuur 13 wordt de installatie van de glasvezelverbinding volledig uitgevoerd tot aan de deur van een woonplaats. De riserkabel vertrekt in de kelder waar de feederkabel het gebouw binnen komt en zal op elke verdieping (of woning) afgetakt worden in een behuizing. Deze verbinding is oranje gekleurd in figuur 13 en wordt gedaan wanneer het gebouw gebouwd wordt. Wanneer klanten intrekken in hun



Figuur 14: De doorlopende kabel links in de behuizing is de 'riser'

woning worden ze individueel verbonden met het netwerk (blauwe verbindingen in figuur 13).

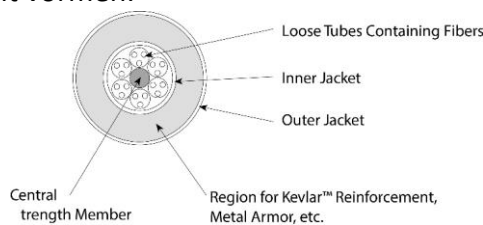
Het Direct-drop-principe is een andere keuze van installeren. Hier wordt enkel de behuizing geplaatst en de feeder-kabel binnen geleid. Deze installatie gebeurt wanneer het gebouw geplaatst wordt. De afzonderlijke verbindingen naar klanten toe gebeurt wanneer de bewoner intrekt.

Afhankelijk van de organisatie van het gebouw en firma's die bij de installatie in aanraking komen wordt bij elk geval afzonderlijk beslist welke methode toegepast wordt.

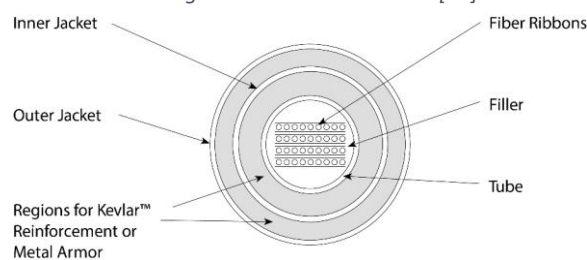
2.5 Vezelkabels

Vanwege de grote variëteit aan externe elementen waaraan de glasvezels worden blootgesteld, zullen deze een bescherming van een aantal lagen nodig hebben om hier tegen beschermd te blijven. De eerste van deze lagen is een dunne beschermende coating gemaakt uit UV-gehard acrylaat, dat is aangebracht tijdens de productie van de glasvezels. Deze dunne laag voorziet de vezel van een mechanische bescherming en een bescherming tegen vocht.

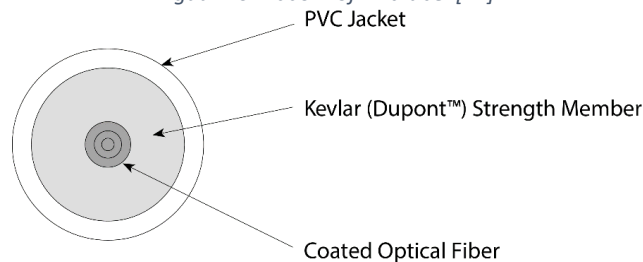
De volgende laag is een buffer die typisch over de coating wordt getrokken om de stevigheid van de vezel te verbeteren. Deze buffer kan een los of strak buisje (of ook wel 'tube' genaamd) zijn. De meeste datakabels zijn gemaakt met één van deze twee constructies. Een derde type kabel dat vaak gebruikt wordt in telecommunicatie is de 'Ribbon cable' of kortweg de lint-kabel. Bij dat laatste type zijn de vezels aan mekaar gehecht zodat ze een lint vormen.



Figuur 17: Loose-tube Kabel [11]



Figuur 16: Ribbon- of Lintkabel [11]



Figuur 15: Tight-buffered Kabel [11]

'Loose-tubes'-kabels worden vaak gebruikt om een verbinding te maken over een langere afstand en OSP-installaties (Outside Plant) waar lage demping en hogere kabeltrekkracht vereist is. Om een hogere dichtheid van vezels te krijgen en toch nog compact te blijven, worden vaak enkele vezels door één enkele tube gestoken. De kostprijs voor vezels in een loose-tube is lager dan die van tight-buffered kabels (waar de tube strak rond de vezel zit). De tubes zelf kunnen opgevuld worden met een gel of gewikkeld worden in een absorberende tape zodat er geen vocht in de kabel kan en er extra bescherming wordt voorzien voor de vezels.

De materialen die gebruikt worden voor de 'jacket' of buitenste laag hebben niet alleen invloed op de mechanische en dempende eigenschappen van de kabel maar bepalen ook in welke omgevingen ze kunnen en mogen gebruikt worden. Een kabel die blootgesteld wordt aan chemicaliën, kan voorzien worden van een inert fluorocarbon materiaal om de jacket te produceren zoals:

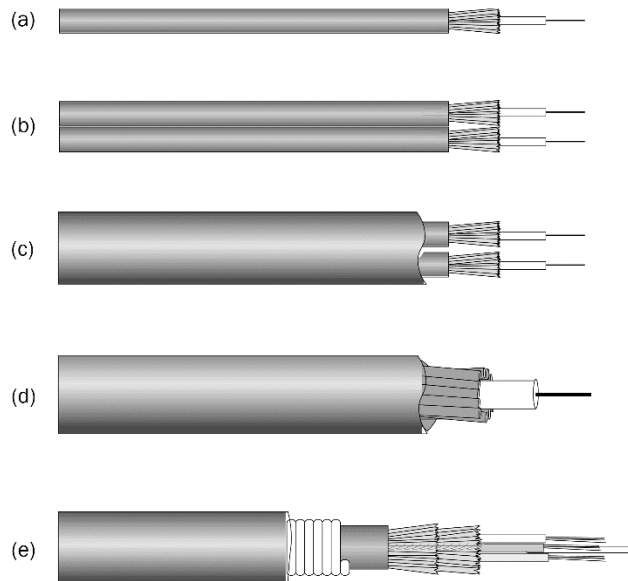
-  Kynar
-  PFA
-  Teflon
-  FEP
-  Tefzel
-  Halar

Deze materialen zijn bruikbaar binnen een zeer ruim toepassingsgebied, hoewel ze soms te stijf kunnen zijn voor industriële toepassingen.

Brandveiligheid is een groot probleem. Kabels die gebruikt worden in industriële toepassingen, zoals een energiecentrale, worden vaak horizontaal in kabelgoten gelegd. Enkele kabels worden dan op elkaar gestapeld. Het horizontaal verder zetten van de brand en het aansteken van ondergelegen kabels door het druppelen van gesmolten jacketmateriaal moet absoluut vermeden worden. Materialen zoals Hypalon en XLPE zullen de eisen qua vlam verspreiding, zoals beschreven in IEEE-383, 1974 halen. Deze materialen zullen eerder verkolen dan dat ze bij het smelten beginnen druipen.

Naast het buffertype, jacketmateriaal, en vlambaarheidseisen moet het design van de kabel ook gebaseerd zijn op de mechanische en omgevingscondities die de kabel doorheen zijn leven.

Een kabel kan door buizen, leidingen en kabelgoten getrokken worden. Hiervoor zijn er enkele versterkingsonderdelen aangebracht in de kabel, 'strength-members' genaamd. Deze zorgen ervoor dat de vezels niet beschadigd worden door enerzijds trekkrachten en anderzijds door het beperken van de buigradius van de kabel. Het toevoegen van Kevlartm verhoogt de trekkracht van de kabel. Kevlartm kan gevlochten of in lengterichting aangebracht worden onder het jacket materiaal van de kabel.



Figuur 18:(a) Simplex kabel, (b) Zipcord kabel, (c) Tightpack kabel, (d) Breakout kabel, (e) Armored loose-tube kabel [11]

Het centrale verstevigingsonderdeel dient enerzijds als vulstof waarrond de vezelcomponenten geplaatst worden en anderzijds als onderdeel waarop trekkrachten kunnen uitgeoefend worden.

[11]

2.6 Werking van een optische vezelverbinding

Glasvezels of Optical fibers zijn een medium om communicatiesignalen te zenden van de ene locatie naar de andere. Het licht wordt als het ware geleid door dunne plastic of glazen vezels. De signalen kunnen zowel digitale pulsen als gemoduleerde analoge signalen zijn. Deze signalen kunnen telefonische data, computerdata, videodata of eender wel ander type informatie zijn.

Deze signalen kunnen eveneens via metalen draden verzonden worden zoals coax en twisted pair. Het zenden door de lucht met microgolf-frequenties is hier ook een optie. De reden waarom dan toch voor glasvezel wordt gekozen is omwille van de voordelen die glasvezel heeft in tegenstelling tot metalen geleiders.

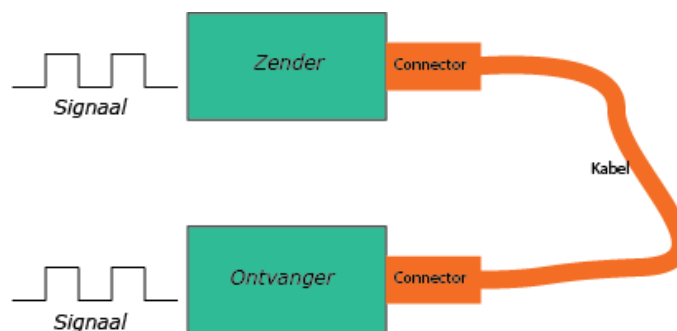
Het grote voordeel is dat glasvezel meer informatie kan transporteren over grotere afstanden en in een kortere tijd dan eender welk communicatiemedium. Daarbij komt nog eens dat signalen die door glasvezel gaan, niet onderhevig zijn aan elektromagnetische straling. Hierdoor is het mogelijk om data met veel minder ruis en fouten door te sturen. Er zijn ook toepassingen waar het toepassen van metalen geleiders gewoon niet toegelaten is zoals sensoren en wetenschappelijke applicaties, medische en chirurgische applicaties, industriële applicaties en het transporteren van een bepaalde figuur.

De meeste vezels zijn gemaakt uit glas maar toch zijn er ook enkele fabrikanten die plastics hanteren. Voor mechanische bescherming zijn de vezels ondergebracht in kabels. Er zijn vele types kabels en configuraties elk voor een specifiek toepassing: binnenshuis, buitenshuis, ondergronds, onderwater, diepzee, bovengronds en vele meer.

Een circuit met glasvezel is opgebouwd uit drie elementen:

1. Een lichtbron aan het ene uiteinde (laser of led), met een connector of ander mechanisch systeem dat er voor zorgt dat de vezel uitgelijnd is met de lichtbron. De lichtbron krijgt op zijn beurt signalen binnen van de ondersteunende elektronica die de elektrische informatie omzet naar optische.
2. De kabel (met zijn connectoren, kabel en eventueel splices) van het ene punt naar het andere. De vezel transporteert het licht naar zijn bestemming.
3. De lichtdetector aan het andere einde met een connectorinterface voor de kabel. De detector ontvangt het licht waarna de ondersteunende elektronica het lichtsignaal weer omzet naar elektrische signalen die gemodificeerd zijn voor de bedoelde functies in de communicatie.

De lichtbron en lichtdetector zijn respectievelijk de zender en ontvanger. Figuur 15 verduidelijkt de opbouw.

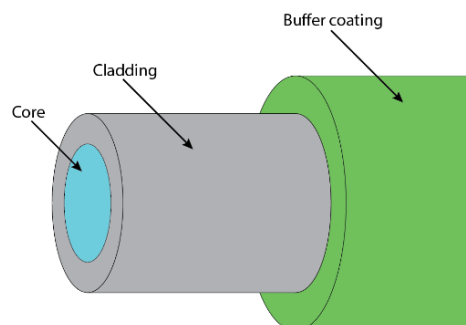


Figuur 19: Principiële opbouw van een optische vezelverbinding

[11]

2.6.1 Opbouw en fysische werking

Optische vezel is een licht dragende kern, omvat door een omhulsel genaamd 'cladding'. De kern is meestal glas of plastic, het omhulsel is vaak gesmolten silicaglas dat bedekt is



Figuur 20: Opbouw van een glasvezel [11]

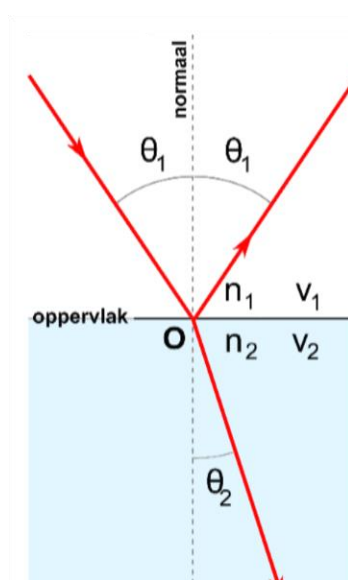
met een plastic coating die 'buffer' genoemd wordt. Onderstaande figuur verduidelijkt de opbouw.

Door het principe van totale interne reflectie blijft het licht volledig in de kern. Doordat de kern van de vezel bestaat uit een materiaal dat een hogere brekingsindex heeft, kan ervoor gezorgd worden dat het licht volledig gereflecteerd wordt op de grens van de twee materialen. Dit principe is gebaseerd op de wet van Snellius.

Deze wet beschrijft hoe licht gebroken wordt bij het overgaan van het ene medium naar het andere.

De wet kan voorgesteld worden met de volgende formule:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \rightarrow n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (1)$$



Figuur 21: Brekingswet volgens Snellius

Uit de figuur blijkt dat hier zowel een deel licht door het medium met brekingsindex n_2 gaat, als door het medium met brekingsindex n_1 . Bij glasvezelkabels is het dus ongewenst dat er licht door n_2 gaat. Van zodra dit gebeurt zijn er verliezen die uiteraard ongewenst zijn. Daarom gaat men gebruik maken van het optische verschijnsel 'TIR'.

Als het licht uittreedt naar een minder dichte stof (zoals vanuit glas naar water of vanuit water naar lucht) dan moet de verhouding tussen beide sinusen kleiner zijn dan 1.

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} < 1 \quad (2)$$

Omdat de hoek (θ_2) in het minder dichte medium niet groter kan worden dan 90° , is er een grenshoek die bepaald kan worden waarbij de sinus van θ_2 gelijk wordt aan 1. Deze grenshoek of 'kritische hoek' kan worden bepaald met volgende formule:

$$\sin(\theta_g) = \frac{n_2}{n_1} \quad (3)$$

Van zodra het licht invalt op het grensvlak van beide media en de hoek groter is dan de grenswaarde dan spreekt men van Totale Interne Reflectie en is er dus geen uittredend licht.

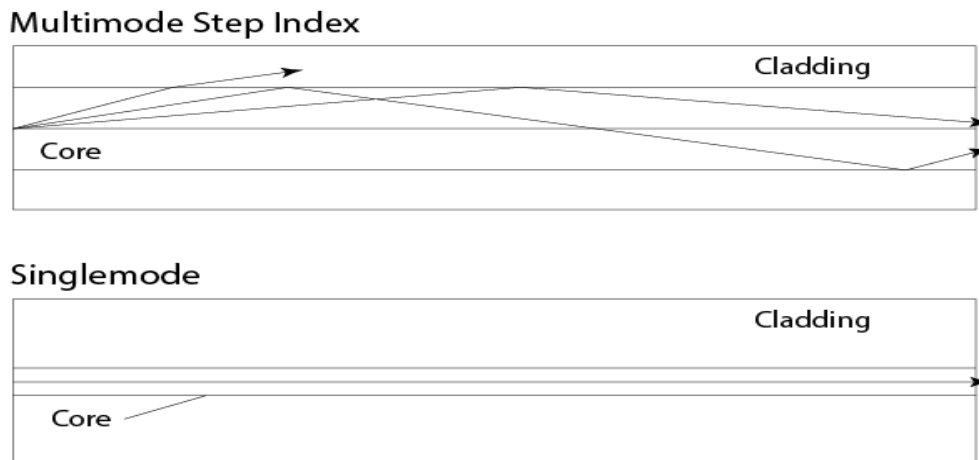
Daarnaast is glasvezel buigbaar en kan dit verschijnsel opgeheven worden door de kabel op te rollen in een veel te kleine straal of de vezels te laten knikken.

[12]

2.6.2 *Gegevensoverdracht via optische vezels*

Glasvezels zijn het meest voorkomende medium in communicatieapplicaties. Deze vezels kunnen zowel single- als multimode zijn qua opbouw, afhankelijk van de toepassing. De meeste hedendaagse telecom en community antenna television (CATV) systemen zijn singlemode vezels. Local area networks (LANs) gebruiken multimodevezels.

Singlemode-vezels hebben een veel kleinere kerndiameter dan multimode-vezels en zijn bereid om een grotere bandbreedte over te dragen. Multimode kan dankzij de grotere diameter gemakkelijker gekoppeld worden aan goedkopere lichtbronnen zoals LEDs.



Figuur 22: Multimode & Singlemode [11]

Onderstaande tabel toont een overzicht van eigenschappen die beide vezels typeren.

Tabel 1: Vezeleigenschappen [11]

Vezel type	Kern/Cladding \emptyset	Bandbreedte (MHz-km)
Multimode/Plastic	1mm	Laag
Multimode/Step index	200 μ m/240 μ m	50 @ 850nm
Multimode/Graded index	50 μ m/125 μ m	600 @ 1300nm
	62.5 μ m/125 μ m	500 @ 1300nm
	85 μ m/125 μ m	500 @ 1300nm
	100 μ m/140 μ m	300 @ 1300nm
Singlemode	8-9 μ m/125 μ m	Hoog

2.6.3 Vezelprestaties

Zuiverheid van het medium is heel belangrijk om de beste overdracht doorheen een optische vezel te krijgen. Perfect vacuüm is het meest pure medium dat gebruikt kan worden om licht doorheen te zenden. Omdat vezels bestaan uit solide, niet holle kernen, is dit de tweede beste optie in termen van zuiverheid. Technologie maakt het mogelijk om heel helder glas te maken maar perfect zuiver glas blijft onbestaande.

Onzuiverheden zijn niet gewild in een vezel, toch zullen deze onzuiverheden onderdeel vormen van de opbouw van een vezel. Vuil en onzuiverheden zijn twee aparte dingen. Vuil komt van externe factoren en kunnen eventueel afgekuist worden door allerlei producten en technieken. Onzuiverheden daarentegen zitten in de vezel van bij de productie en kunnen dus niet verwijderd worden. Deze onzuiverheden zullen ervoor zorgen dat optisch signaal verloren zal gaan door verstrooiing en absorptie van licht. Dit zal een grote invloed hebben op de betrouwbaarheid van de communicatie.

Er wordt heel wat onderzoek gericht op het maken van extreem zuivere vezels met nagenoeg geen optische verliezen. Tegenwoordig zijn de vezels zo zuiver dat als het

water in de oceaan even zuiver zou zijn, je de bodem van de oceaan kan zien op een heldere dag.

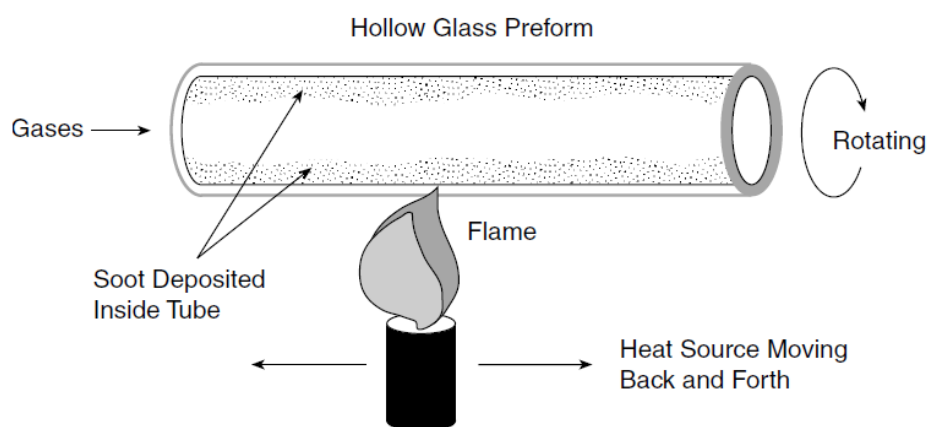
Optische vezel heeft ook nog een tweetal lagen die rond de cladding zitten, ook wel de buffer genoemd. De buffer is een plastic coating dat ervoor zorgt dat het glas niet bekrast kan worden, wat leidt tot zeer veel verliezen. Deze bufferlaag voegt eveneens sterkte toe aan de vezel en weerstand tegen vocht. Dankzij deze laag kunnen glasvezel tot 5 keer sterker zijn dan staal als het gaat om axiaal trekken aan een vezel.

[11]

2.7 Productie van optische vezels

Om vezels te maken die licht geleiden zijn er drie gangbare productieprocessen die toegepast worden.

Modified Chemical Vapor Deposition is daar één van. In dit proces wordt een holle glazen buis in een draaibank geplaatst en tegen een zeer hoog toerental rondgedraaid. Deze buis is een kleine meter lang en zo'n 2,5cm in doorsnede. Doorheen de buis wordt met een computergestuurd proces, een aantal gassen gestuurd. Langs de buitenzijde beweegt een hittebron (meestal een zuurstof/waterstof-fakkel) van links naar rechts zoals hieronder geïllustreerd. Elke keer als de hittebron passeert, smelt er een deel gas met de rand van het glas. De grootste hoeveelheid van het gas is verdampte siliciumdioxide (glas) met een gecontroleerde hoeveelheid doping. Dit zorgt ervoor dat de brekingsindex van het interne glas anders is dan het buitenste glas. De dopering van het glas kan wijzigen naarmate het proces vordert om verschillende brekingsindexen te gaan combineren in één enkele vezel. Daarna wordt de glazen buis dichtgetrokken tot een glazen staaf. Deze staaf is zeer dik en kort vergeleken met wat het resultaat moet worden. Daarom wordt deze staaf naar een productieproces gebracht waar de vezels getrokken worden van deze staaf.

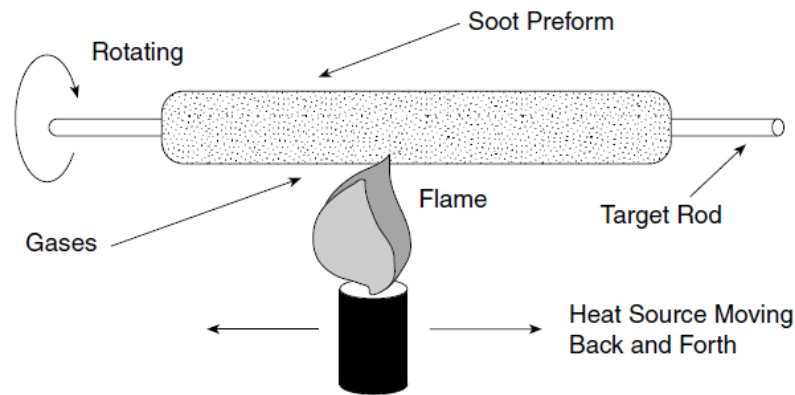


Figuur 23:MCVD-proces [25]

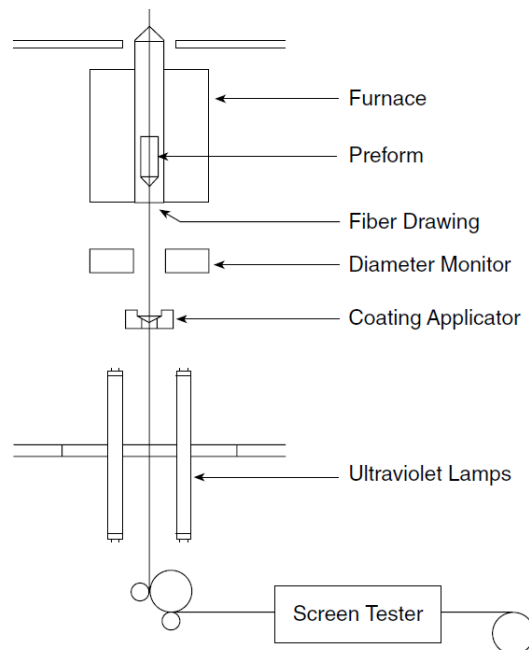
[11]

Outside Vapor Deposition is een variant op het vorige proces. Bij dit proces wordt er vertrokken van een glazen staaf waarop gassen worden losgelaten. Deze gassen worden

ook hier verhit door een warmtebron waardoor ze zich gaan hechten aan de glazen staaf. Bij elke passage van de hittebron worden de lagen opgebouwd op de glazen staaf. Na een voldoende aantal lagen wordt de samenstelling samengedrukt tot een staaf die net als bij MVCD wordt getrokken tot vezels in een volgende productiestap.



Figuur 24:OVD-proces [11]



Figuur 25:VAD proces [11]

Vapor Axial Deposition is de derde techniek. Hierbij wordt een voorgevormde staaf getrokken tot een vezel. Een beschermende coating wordt direct na het trekken op de haarfijne vezels aangebracht. Deze laag is nodig om mechanische bescherming te voorzien aan de vezel. Deze laag voorkomt eveneens het indringen van water in oppervlaktescheurtjes van de vezel. De coating is typisch opgebouwd uit een tweetal lagen. Enerzijds is er de zachter binnencoating en de hardere buitencoating. Doorgaans varieert de beschermende coating qua diameter van zo'n $62,5\mu\text{m}$ tot $187,5\mu\text{m}$, afhankelijk van de toepassing.

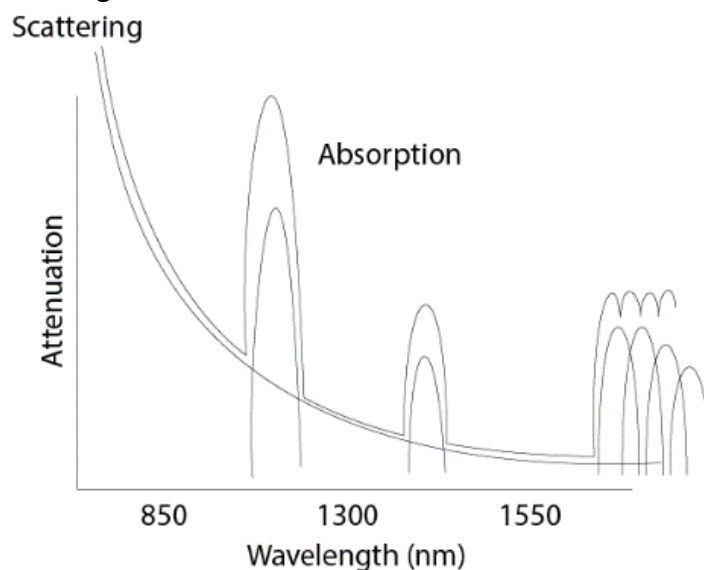
[11]

2.7.1 Vezeldemping [13]

De demping in een vezel is het gevolg van twee factoren: absorptie en verstrooiing. Absorptie is te wijten aan de absorptie van het licht en de conversie naar warmte door de moleculen in het glas. De meest voorname elementen die licht absorberen zijn het overblijvende OH⁺ en doteringsmiddelen die gebruikt worden om de brekingsindex van het glas te modificeren. Deze absorptie komt voor bij bepaalde golflengtes die bepaald worden door de elementen die het licht absorberen. De OH⁺ is overheersend en komt sterk voor bij golflengtes rond de 1000nm, 1400nm en boven de 1600nm.

De grootste oorzaak van demping is de verstrooiing van het licht. Verstrooiing komt voor wanneer licht botst met individuele atomen in het glas. Licht dat verstrooid wordt en dan invalt op de cladding met een hoek die kleiner is dan de kritische hoek zal geabsorbeerd worden door de cladding of gereflecteerd worden in allerlei richtingen, mogelijk zelfs richting de bron.

Verstrooiing is ook een functie van de golflengte, proportioneel tot de vierde, inverse macht van de golflengte van het licht. Dus als de golflengte verdubbeld wordt, wordt de verstrooiing 2⁴ of 16 keer vermindert. Daarom is het noodzakelijk om over lange afstanden de langst, praktisch mogelijke golflengte te gebruiken om op die manier zo min mogelijk demping te veroorzaken en de afstand tussen repeaters te verminderen. Onderstaande figuur toont een typische dempingscurve die gevormd wordt door absorptie en verstrooiing.



Figuur 26: Dempingscurve [11]

[11]

2.7.2 Vezel bandbreedte

De capaciteit van de vezel om informatie te transporteren is gelimiteerd door twee vormen van spreiding:

1. Modale spreiding

Bij multimode step index zijn de banen van het licht niet allemaal even lang wat tot gevolg heeft dat het signaal aan het einde van de fiber volledig fout wordt

geïnterpreteerd en veel verschillen vertoont met het originele signaal. Dit wordt reeds gecompenseerd of verbeterd door graded index.

2. Chromatische spreiding

Bij singlemode worden alle lichtstralen in dezelfde richting door de vezel gestuurd en zullen dus dezelfde baanlengte hebben, maar in het lichtspectrum zitten verscheidene golflengtes van licht die elk een eigen snelheid doorheen een medium hebben. Dit wil dus zeggen dat op een aanzienlijke afstand, de snelle signalen ook aanzienlijk veel eerder bij de ontvanger zullen zijn dan de tragere.

[11]

3 Onderzoeksopzet

Om met een onderzoek te kunnen starten, worden op voorhand een aantal zaken uitgediept. Het probleem, de doelstellingen en de manier waarop dit gerealiseerd kan worden, wordt beschreven.

3.1 Probleemstelling

3.1.1 *Wat is het probleem en waarom is het een probleem?*

Het fixeren en afdichten van kabels, die in en uit een behuizing gaan, wordt nu volledig afzonderlijk gerealiseerd. De oorzaak van deze werkwijze is de grote variëteit aan kabels die er op de markt zijn. Zowel de vorm, grootte, opbouw en materiaal kan verschillen voor deze kabels. Al deze verschillen worden in de huidige systemen opgevangen door diverse oplossingen.

De aparte systemen om te fixeren en af te dichten nemen veel plaats in de behuizing. Bij het combineren van fixeren en sealen in één oplossing, kan meer volume in de behuizing gebruikt worden voor de eigenlijke functie van de behuizing. De totale grootte van de behuizing kan eventueel gereduceerd worden.

De huidige systemen om kabels te monteren en af te dichten zijn niet modulair. Dit wil zeggen dat er voor diverse behuizingen, diverse oplossingen zijn en er geen systeem is dat eenvoudig in meerdere producten geplaatst kan worden. Hierdoor ontstaat er een grote variëteit aan onderdelen met elk een eigen ontwerp, productieproces, opslagruimte, ...

Het plaatsen van een kabel is een intensief werk. Bij het installeren van een matrix (rijen in de breedte van de behuizing en kolommen in de diepte) worden eerst beugels in de behuizing gemonteerd. De installatie van kabels wordt gedaan door kabels met snelbinders op deze beugels te bevestigen. Elke kabel wordt afzonderlijk voorzien van een foam die de wrijving verhoogt zodat de vooropgestelde fixatiekrachten gehaald worden. Enkele (soms moeilijke) handelingen voor het installeren van één kabel maakt het installeren van een matrix al snel tijdrovend.

3.1.2 *Voor wie is het een probleem? (Stakeholders) en wat als het probleem niet wordt opgelost?*

De vele verschillende onderdelen en systemen vormen een probleem voor enkele partijen. Niet alleen CommScope maar ook de leveranciers van hun producten, de Telecom-operatoren, de installateurs en de eigenaars van de gebouwen waarin de producten geïnstalleerd worden, hebben baat bij een modulair systeem.

Voor Commscope betekent de ontwikkeling en gebruik van modulaire systemen dat de ontwikkelings- en leveringstijden korter worden. Ook de productiekost en het magazijngebruik daalt. Door deze aspecten te verbeteren worden de kosten geoptimaliseerd.

Wanneer CommScope de levertijden van producten kan verminderen halen de verdelers hier voordeel uit. Door de kleinere variëteit in onderdelen is het ook voor hen mogelijk om minder magazijnruimte te spenderen.

De telecomoperatoren kunnen sneller netwerken installeren met een modulair systeem. Het verminderde aantal onderdelen zorgt ook voor het gemakkelijk bestellen van onderdelen met een grotere garantie op tijdige levering.

De installateurs installeren de producten van CommScope in opdracht van de telecomoperatoren. De installatie verloopt nu minder vlot omdat de montage niet altijd eenduidig of gemakkelijk is. Zeker voor mensen met weinig training is het vaak onmogelijk de producten te installeren. Daarnaast zit de wagen volgepropt met een groot gamma aan onderdelen die eigen zijn aan één bepaalde installatiemethode. Daarnaast zijn er ook heel wat onderdelen die afval genereren zoals snelbinders en foamstrips.

Ten slotte worden de eigenaars van de huizen een tijdje gestoord door de installatie. Deze tijd kan beperkt worden door een snellere installatie. Daarnaast kan de behuizing kleiner uitgevoerd worden door middel van een modulair systeem. Kleinere behuizingen nemen minder plaats in en vallen minder op.

3.1.3 *Wat zijn de oorzaken van het probleem?*

Een grote variëteit aan kabels ligt aan de basis van de vele verschillende onderdelen die nu in het gamma zitten van CommScope. Deze oorzaak direct aanpakken is onmogelijk.

De variatie in kabels is met enkele factoren te beschrijven. De vorm van de doorsnede (rond of rechthoekig), de diameter van deze vorm en de opbouw van de strengthmember in de kabel, als deze aanwezig is of niet, zijn de factoren waarop de huidige systemen zijn gebaseerd.

Anticiperen op al deze factoren leidt tot een grote hoeveelheid verschillende onderdelen om goed te fixeren en af te dichten.

3.2 Doelstelling en Product Requirements Document (PRD)

Tijdens de masterproefperiode wordt verwacht dat het onderzoek en ontwikkeling van een nieuw modulair systeem een uitgebreide start krijgt. Een uitgebreide start houdt in dat er eerst concepten bedacht worden. Daarna worden de betere concepten gefilterd aan de hand van de expertise van interne specialisten. De betere concepten worden uitgetekend en praktisch uitgewerkt tot prototypes. De prototypes kunnen dan op hun beurt getest en verbeterd worden.

De leidraad doorheen deze stappen is een '*product requirements document*'. Dit is een document waarin alle eigenschappen en eisen van het product verzameld worden. Elke eis en eigenschap behoort tot vakgebieden waarin het bedrijf enkele specialisten heeft. Deze personen gebruiken hun expertise om een goede PRD samen te stellen voor het product.

De PRD voor deze masterproef wordt in Tabel 2 getoond.

Tabel 2: Product Requirement Document voor dit Masterproefonderwerp

COMMSCOPE®

Product Requirements Document (PRD)

PROJECT NAME Ontwikkeling van een modulaair systeem dat het fixeren en afdichten van glasvezelkabels combineert.		CURRENT REVISION 1.6	
PROJECT NUMBER WWS380		DATE 24/04/2016	
"a solution combining sealing and fixation into one modular block for new boxes"			
ID	DESCRIPTION	REQUIREMENT	OBJECTIVE
1	drop-cable fixation (push and pull forces)	25N	50N
2	IP-grade for installed box	IP 54	IP 55
3	Modularity	Fits in different box-sizes, Possibility of building one layer or more. (eg.: for placing more drop cables in time)	Fits in different box-sizes, Possibility of building one layer or more. (eg.: for placing more drop cables in time)
4	Avoid cable feed through	all wrap around	all wrap around
5	Decrease space in box consumed by sealing and fixation parts (reference BUDI)	At least 10%	50%
6	Cable entrance density (amount of dropcables per cm ²)	At least the same as today	10% higher
7	box maintains IP-grade without cables, with a few cables installed and at full capacity	Lifetime	Lifetime
8	one solution for different cabletypes	Cable range 1,2-4,3mm, different jacketmaterials, innerstructure independent	Cable range 1,2-4,3mm, different jacketmaterials, innerstructure independent
9	assembly and mounting	Poka-Yoke: 'Fool-proof', only one way to mount correctly	Poka-Yoke: 'Fool-proof', only one way to mount correctly
10	Components used to cover cable range	As few as possible	As few as possible
11	Cable preparation	Cable preparation as much as possible outside box (accessibility) only 30% of total cablehandling in the box	Cable preparation as much as possible outside box (accessibility) only 10% of total cablehandling in the box
12	Installation time	Same as today	50% faster
13	Installation acces in products	Front-acces only when box is mounted	Front-acces only when box is mounted
14	Cable installation flow	Drop cables to be installed one by one, previous installed drop cables should remain mounted. Mounted cables will never be removed.	Drop cables to be installed one by one, previous installed drop cables should remain mounted. Mounted cables will never be removed.
15	fiber-grades	G657.A2 and G657.B3	Also acceptable for G657.A1 and G652.D
16	managing cable grow-out	Allow fiber growout up to 1cm	Allow fiber growout up to 1cm
17	Waste generation of installation	Less than today	None
18	Cable installation requirement	Transient free	Transient free
19	managing strengthmember grow-out	Prevent strengthmember to grow in box	Prevent strengthmember to grow in box
20	Environmental category	IEC 61753-1: Category A & C	IEC 61753-1: Category A & C
21	Materials to be avoided in products	RoHS compliant	RoHS compliant
22	UV resistance	ASTM G154	ASTM G154
23	Geographical area	EMEA	Global
24	flame retardant	UL94 V0 + LSZH	UL94 V0 + LSZH
25	Impact resistant (IEC 62262)	IK08	IK08
26	Product-range compatibilty	No retrofit needed, only for new product	No retrofit needed, only for new product
27	Expected quantities	100,000 cables/year	100,000 cables/year
28	Installer safety (avoid injuries)	No sharp edges (round 0,2mm)	No sharp edges (round 0,2mm)
29	Cost saving	At least 20% on current cost	At least 20% on current cost

3.2.1 Toelichting

1. De kabel die als dropkabel geïnstalleerd wordt moet een axiale trekkracht (haaks op de buitenwand van de box) weerstaan van 25N.
2. Afdichting is hier noodzakelijk om de correcte werking van de componenten in de behuizing te garanderen. Om dit te beschrijven worden de IP-normen toegepast. De details van de normering zullen uitvoerig besproken worden bij het testen van de nieuwe systemen.
3. Het nieuwe systeem moet zodanig flexibel zijn dat zowel kleine behuizingen met lage wanden als grote behuizingen met hoge wanden, voorzien moeten kunnen worden van hetzelfde systeem. In de wand wordt een matrix met rijen en kolommen opgebouwd met behulp van het nieuwe systeem. Elke plaats in de array laat één kabel door de wand. Bij het plaatsen van de behuizing kan het zijn dat de plaatsen in de matrix niet allemaal zijn gebruikt. Daarom moet het systeem doorheen de levensduur van de behuizing flexibel zijn om kabels bij te plaatsen van tijd tot tijd.
4. Bij sommige installaties (zoals looped installation) is het niet mogelijk om de kabel doorheen een onderdeel te steken. Daarom wordt het nieuwe product 'wrap-around' wat wil zeggen dat er onderdelen rond de kabel geklikt, geplakt, ... moeten worden.
5. De plaats die het nieuwe product zal gaan innemen in de moet minder zijn dan nu het geval is.
6. Het aantal kabels per oppervlakte-eenheid moet minstens behouden blijven of verbeteren in het nieuwe systeem.
7. Gedurende de gehele levensduur van de behuizing moet de IP-graad gerespecteerd blijven. Het bijvoegen van kabels, van de minimale tot maximale capaciteit van de behuizing, mag geen enkele invloed hebben op de totale IP-graad van de behuizing.
8. Het nieuwe systeem moet zo ontworpen zijn dat er zoveel mogelijk verschillende kabels gemonteerd kunnen worden. Van kleine diameters tot grote en verschillende vormen moeten in éénzelfde matrix gemonteerd kunnen worden. De matrix wordt opgebouwd in een wand van de behuizing.
9. Het systeem moet eenvoudig te installeren zijn door mensen die hiervoor geen uitgebreid leerproces moeten doorlopen. Daarom moet is het systeem liefst opgebouwd aan de hand van het 'Poka Yoke'-principe. Wanneer dit principe wordt toegepast, kunnen de onderdelen maar op één juiste manier geïnstalleerd worden.
10. Het systeem moet uit zo min mogelijk onderdelen bestaan. Dit om het aantal handelingen te verminderen.
11. Het manuele werk in een behuizing is vaak moeilijk door de plaats waar de behuizing gemonteerd is zoals op een paal of in een donkere kelder. Daarnaast heeft de installateur vaak zijn tools en onderdelen in een auto liggen die vaak onmogelijk tot bij de behuizing geraakt. Daarom is het belangrijk dat het meeste werk aan de auto kan gebeuren om de kabel volledig klaar te maken en uiteindelijk met één enkele handeling in de behuizing te plaatsten.

12. Het systeem moet sneller te installeren zijn dan nu het geval is. De uiteindelijke installatietijd die voor ogen is, is de helft van de huidige installatietijd.
13. Een behuizing heeft rechtopstaande wanden. Hierdoor is het werken in een evenwijdige richting met deze wanden het gemakkelijkst. Daarom is Front-access de meest aangewezen methode om de onderdelen te installeren.
14. Gedurende de levensduur van het product moet het mogelijk zijn om eenvoudig dropkabels bij te plaatsen zonder de reeds gemonteerde dropkabels te demonteren.
15. Doorheen het systeem worden enkele types fibers geplaatst. Het ene type is een vezel die reeds gebruikt wordt en het andere is een type dat naar de toekomst toe, de standaard zal worden voor netwerken met optische vezels. Elk type heeft mechanische en optische designregels die nageleefd moeten worden. Deze designregels worden in onderstaande tabel verduidelijkt:

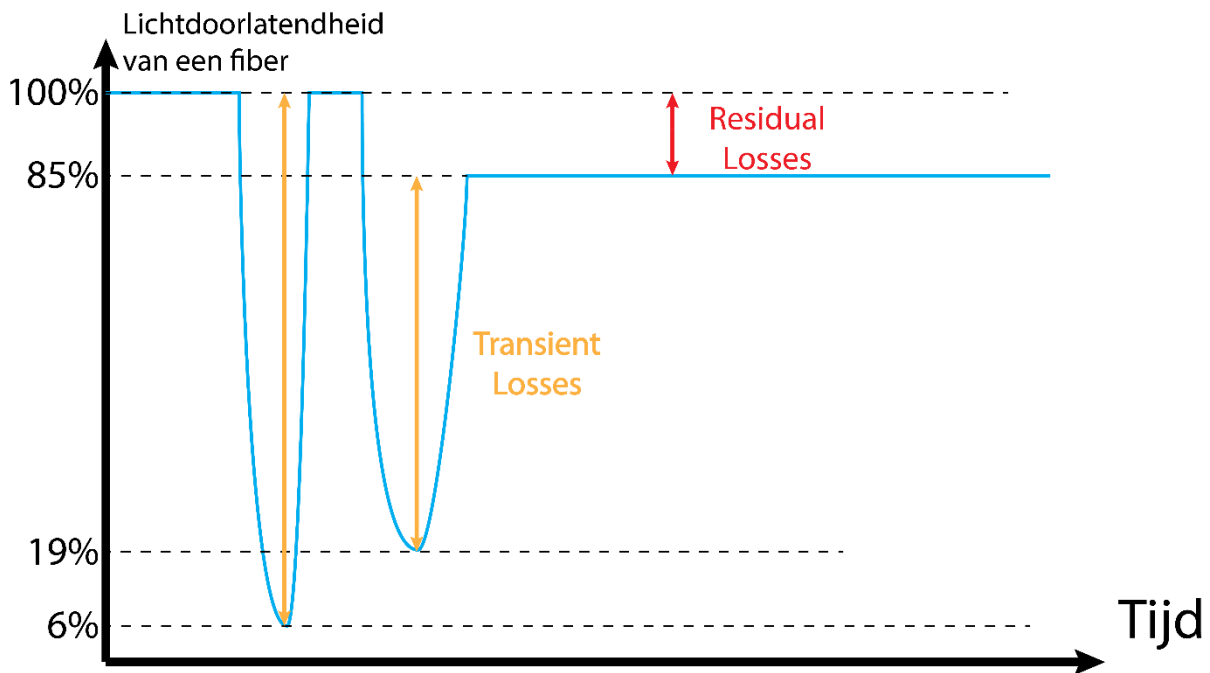
Tabel 3: Buigradii van vezels in Fiber Management Systems

Fiber type	Core Netwerk FMS (waarschijnlijkheid op falen $<10^{-7}$ en maximaal verlies $< 0,05$ dB bij een golflengte van 1550 nm)	Acces Netwerk FMS (waarschijnlijkheid op falen $<10^{-6}$ en maximaal verlies $< 0,1$ dB bij een golflengte van 1550 nm)	FTTH Netwerk FMS (waarschijnlijkheid op falen $<10^{-5}$ en maximaal verlies $< 0,1$ dB bij een golflengte van 1550 nm)
G. 652	30 mm, maar 25mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.	30 mm, maar 20mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.	30 mm, maar 20mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.
G. 657 A1	30 mm, maar 25mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.	25 mm, maar 20mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.	20 mm, maar 15mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 0,5 meter vezel.
G. 657 A2 en B2	30 mm, maar 25mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.	25 mm, maar 20mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.	20 mm, maar 15mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.
G. 657 B3	30 mm, maar 25mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.	25 mm, maar 20mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 2 meter vezel.	20 mm, maar 10mm is toegestaan in sommige geïsoleerde locaties met een totale opgeslagen lengte van 0,2 meter vezel.

FMS = Fiber Management Systems

16. Wanneer de kabel wordt blootgesteld aan temperatuurverschillen zal de mantel uitzetten en krimpen. Dit mag niet resulteren in een beweging van de fiber ten opzichte van de behuizingwand.
17. De installatie mag weinig of geen afval genereren.
18. Wanneer nieuwe kabels in de behuizing moeten worden aangesloten is het aangewezen de reeds geïnstalleerde kabels niet los te maken of te demonteren.

Dit heeft te maken met twee types verliezen die er kunnen optreden wanneer kabels gedemonteerd worden en behandeld worden wanneer er lichtstralen doorheen gaan. Zo is er enerzijds het blijvend verlies van signalen (Residual Loss) en anderzijds het tijdelijke verlies van de signalen door een vezel. Geen van beide worden getolereerd. Dit om te vermijden dat de verbinding van de eindgebruiker beïnvloed wordt. Onderstaande figuur toont het verschil tussen de verliezen.

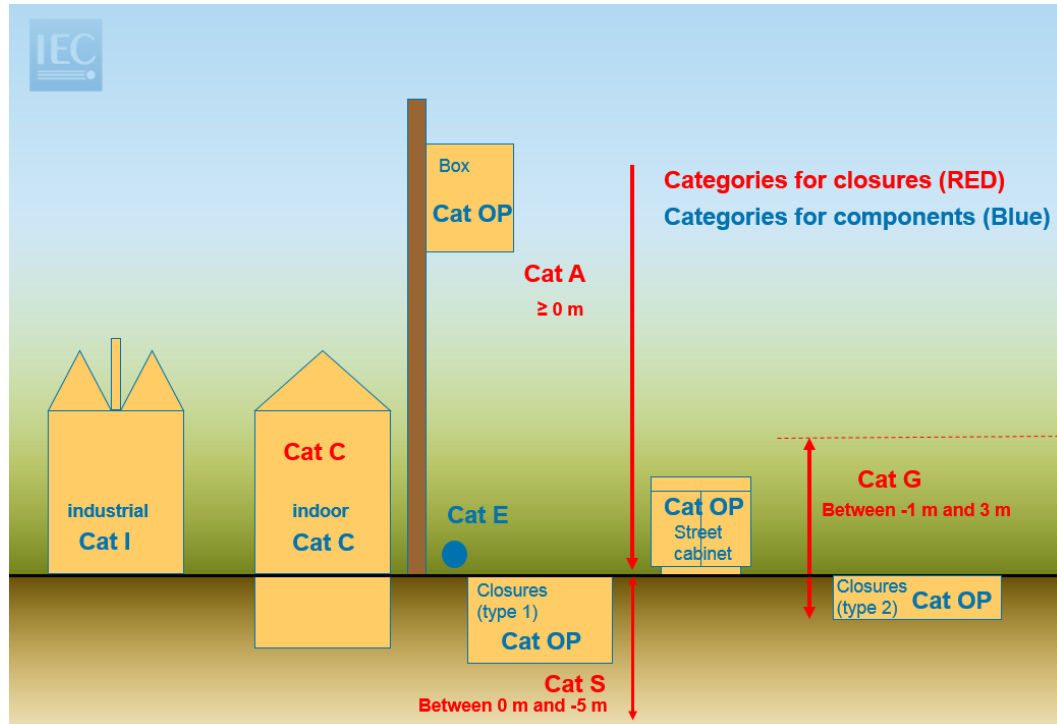


Figuur 27: Verliezen in fibers

De percentages in bovenstaande figuur zijn voorbeelden, geen gemeten waarden.

19. Wanneer de mantel uitzet en krimpt bij temperatuurverschillen, is dit veel minder het geval voor de strengthmember die in de kabel zit. Wanneer de kabel krimpt bij lagere temperaturen zal de strengthmember dus veel langer worden dan de kabel (afhankelijk van de totale lengte van de kabel). De lengte, die de strengthmember de behuizing ingroeit, moet opgevangen worden door het nieuwe systeem.

20. De plaatsen waar het product toegepast wordt, brengen een aantal restricties met zich mee. De omgevingstemperatuur en –vochtigheid spelen hierin een grote rol. De behuizing waarin een nieuw product geplaatst zal worden, wordt indoor of outdoor op een paal of muur gemonteerd zoals in onderstaande figuur wordt getoond.



Figuur 28: Categorieën voor closures en componenten volgens IEC 61753-1 [14]

Volgens de norm IEC 61573-1 vallen deze producten in de categorieën A en C [14].

De norm beschrijft de eisen voor elke categorie als volgt:

Tabel 4: Eisen per categorie (enkel A & C zijn getoond) [14]

C	Indoor Controlled environment	Operating temperature -10 °C to +60 °C Relative humidity 5 %RH-93 %RH Typically within office or building.
A	Outdoor Aerial environment	Operating temperature -40 °C to +65 °C Relative humidity 0 %RH-100 %RH Typically outdoors, fully exposed environment, above ground level aerial mounted. No flooding requirements.

21. Een Europese richtlijn in verband met het gebruik van materialen moet nageleefd worden. RoHS is de afkorting voor *Restriction of Hazardous Substances* en tracht het gebruik van zes stoffen te verminderen in de elektronische industrie. Deze zes stoffen zijn Lood (Pb), Kwik (Hg), Cadmium (Cd), Chroom VI-Cr⁶⁺ (zeswaardig chroom), PBB's (polybroombifenylen) en PBDE's (polybroomdifenylethers). De

laatste twee materialen zijn vlamvertragers die in sommige plastics worden toegevoegd. [15]

22. Materialen kunnen zowel esthetisch als functioneel degraderen onder de invloed van UV-licht. Daarom moet het gekozen materiaal voldoen aan de norm ASTM G154.
23. De regio waar het product gebruikt zal worden is EMEA. EMEA staat voor *Europe, Middle East en Africa*. Hierdoor kunnen materialen als PVC niet gebruikt worden.
24. Bij het verwarmen van de mantel van een kabel mag de kabel niet meer dan een bepaalde hoeveelheid rook en halogeen vrijgeven. De normering hierrond wordt beschreven in ISO 14001 maar wordt vooral gekend door de afkorting *LSZH* wat staat voor '*Low Smoke Zero Halogen*'. Ook het materiaal dat gebruikt wordt voor een nieuw systeem zal hieraan moeten voldoen.

Het product mag bij brand geen brandhaard versnellen. Daarom worden de producten getest met de UL94 standaard [16]. Deze standaard beschrijft het gedrag van polymeren die verbrand worden. In deze standaard wordt verkozen om de variant UL94-V0 te hanteren. Deze standaard schrijft voor dat het product binnen de 10 seconden stopt met branden. Ook het afdruipe van materiaal is toegelaten als de druppels geen vuur vatten.

25. Er is natuurlijk nooit de zekerheid dat er geen impact gebeurt op het systeem. Hiervoor wordt de IK08 bal test gehanteerd om te testen of het systeem bepaalde ruwe handelingen aankan. Deze test wordt uitgevoerd met een gewicht van 5kg dat men laat vallen vanop 30cm boven het te testen onderdeel [17].
26. Dit systeem zal een compleet nieuw product zijn dat vooral in de toekomst toegepast zal worden op nieuwe behuizingen.
27. Het aantal verwachtte eenheden die per jaar gemaakt zullen worden, wordt geschat op 100.000 stuks per jaar.
28. De installateur zal correcte handelingen moeten uitvoeren bij het veilig installeren van de behuizing. Deze handelingen kunnen verwondingen teweegbrengen bij de installateur als de onderdelen te scherp zouden zijn of moeilijk te installeren zijn. Om hiermee rekening te houden worden er afrondingen toegepast van 0,2mm op plaatsten waar dit mogelijk is en de correcte werking van het product niet hindert.
29. Het project moet een kostenbesparing van 20% opleveren.

3.3 Materiaal en methode

Gedurende de gehele Masterproef zullen een aantal fases doorlopen worden. Allereerst is er de conceptfase waarin brede ideeën voor een nieuw systeem uitgedacht zullen worden. Vertrekkende vanuit deze ideeën, voor zowel fixatie als afdichting, zal getracht worden een meer specifiek concept uit te werken dat meer praktisch gericht is en eventueel de principes al begint te combineren. De haalbare concepten worden gefilterd door de student en de promotor binnen het bedrijf.

Na de ideeëngeneratie, uitwerking en filtering worden de meer concrete concepten getekend met een CAD-pakket genaamd PTC CREO 3.0. Met de concepten die dan

getekend zijn kan een design-review meeting georganiseerd worden waarin enkele specialisten en experts binnen het bedrijf hun expertise delen over de getekende concepten. De expertises zorgen ervoor dat de concepten verbeterd en geoptimaliseerd kunnen worden. De verbeterde concepten kunnen dan geprint worden met behulp van de diensten van onder meer Materialise en de interne 3D-printers.

De fysieke concepten, die dan geprint zijn, kunnen getest worden. Deze testen kunnen in-house gedaan worden bij CommScope. Hiervoor is een uitgebreid test-labo voorhanden waar heel wat verschillende testen gedaan kunnen worden:

- Testen op triltafels,
- Push/pull testen,
- IP X1 tot IP X5 testen,
- IP 1X tot IP 5X testen,
- UV-testen,
- Testen met temperatuurverschillen.

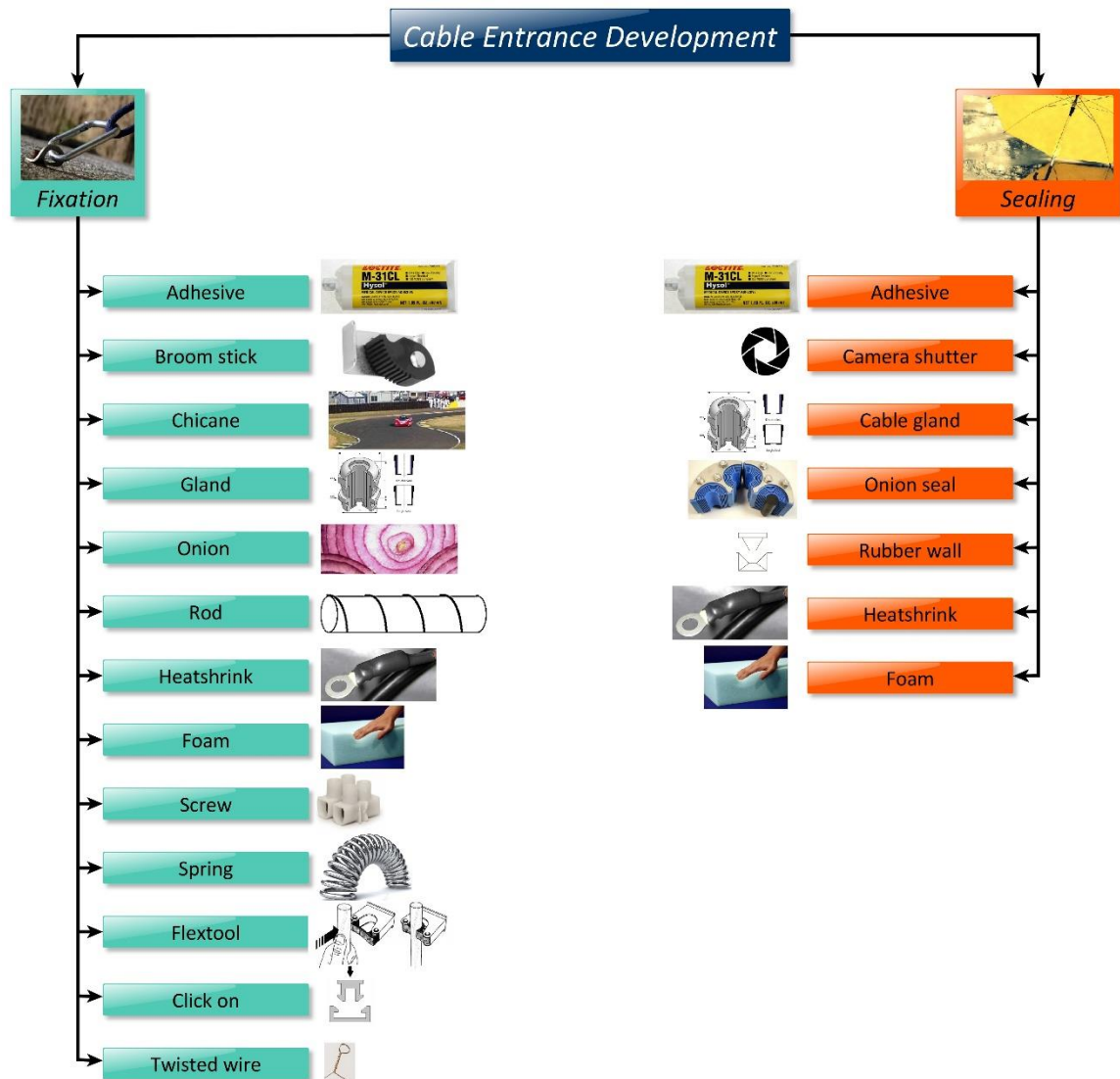
Na elke test zullen de resultaten verwerkt en besproken worden met specialisten ter zake. Hierna kunnen de concepten verbeterd en hertekend worden. Dan kunnen opnieuw testen gedaan worden.

Corpus

4 Conceptgeneratie

Tijdens de conceptgeneratie worden mogelijke oplossingen voor het probleem verzameld. De eerste fase van deze generatie is heel 'blue-sky', wat wil zeggen dat de concepten niet technisch realiseerbaar hoeven te zijn. Het is vooral de bedoeling om ideeën te verzamelen waarmee aspecten van de probleemstelling opgelost kunnen worden.

Gedurende deze eerste fase werden verschillende ideeën verzameld en uitgezet in een mind-map. In deze mind-map werden fixatie en sealing gescheiden gehouden. Hierdoor ontstond een zijde met enkel fixatie-ideeën en een zijde met enkel sealing-ideeën. Dit schema wordt in onderstaande figuur getoond.



Figuur 29: Mindmap Conceptgeneratie [28] [29] [30] [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] [41]

4.1 Fixatieconcepten

De linkerkant van de mind-map (Figuur 29) toont de ideeën om een kabel te fixeren. Als doel zal een kracht tussen de 25 Newton en 50 Newton gehaald moeten worden. Bij voorkeur op z'n minst 50 Newton zodat het systeem zeker voldoet aan de PRD.

Om zo flexibel mogelijk te blijven naar kabeltypes toe, wordt geprobeerd om enkel op de mantel van de kabel te fixeren. Om dit te realiseren wordt gebruikt gemaakt van wrijving tussen het systeem en de kabel. Wrijving is afhankelijk van normaalkrachten en een wrijvingscoëfficiënt tussen kabel en systeem. Dit verband kan met de volgende formule beschreven worden:

$$F_{wrijving} = F_{normaal} \cdot \mu \quad (1)$$

In deze formule is:

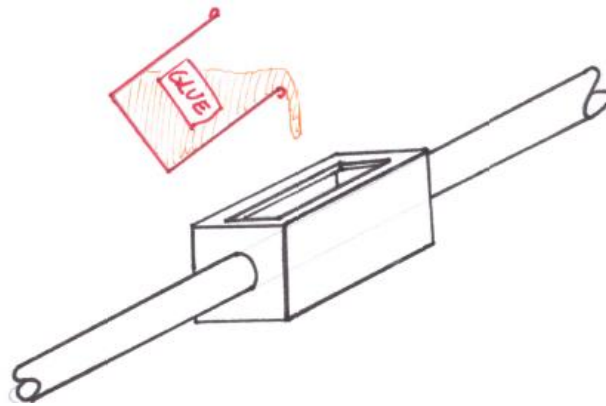
$F_{wrijving}$ = Wrijvingskracht

$F_{normaal}$ = De kracht loodrecht op het oppervlak. In dit geval het manteloppervlak.

μ = Wrijvingscoëfficiënt tussen twee oppervlakken.

4.1.1 Adhesive concept

Het verlijmen van een kabel is een zeer voor de hand liggende fixatiemethode. In dit concept is het de bedoeling dat er een onderdeel rond de kabel wordt geplaatst. Dit onderdeel wordt dan volgespoten of volgegoten met een product dat volledig uithardt. Dit proces heet 'Potting'. Onderstaande figuur verduidelijkt het concept.



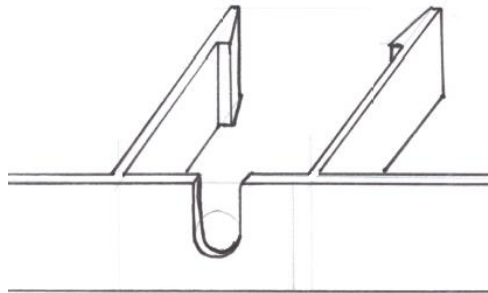
Figuur 30: Adhesive concept

Het onderdeel dat rond de kabel gelijmd wordt, kan eender welke vorm hebben. Dit is een grote troef wanneer het onderdeel in een modulair systeem moet passen. Bij het verlijmen van dat onderdeel is de grootte van weinig belang omdat het contactoppervlak tussen kabel en systeem niet groot hoeft te zijn om grote wrijvingskrachten te ontwikkelen. Dit verkleint de ruimte van het product in de behuizing en vergroot het aantal kabels per oppervlakte-eenheid. Daarnaast zijn er heel wat opties om het onderdeel rond de kabel te ontwerpen dat er zo min mogelijk verschillende onderdelen voor nodig zijn.

Echter moeten alle diameters goed afgesloten blijven zodat de lijm voor het harden niet uit het systeem loopt. Dit maakt het systeem vrij afhankelijk van de diameter wat de

flexibiliteit omtrent kabeldiameters niet bevordert. Naast dit eerste mogelijke nadeel wordt er mogelijk veel afval gegenereerd bij het plaatsen van zo'n blokje op een kabel. Door externe tools en producten te gebruiken, worden de lege lijmc cartridges en gereedschappen alleen maar last voor de installateur.

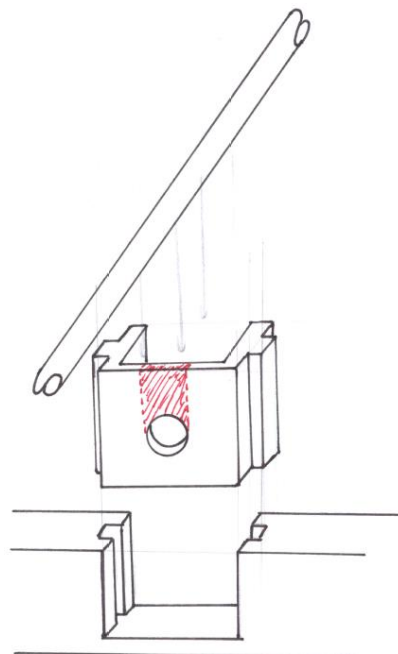
Om een beter idee te krijgen hoe dit systeem opgebouwd kan worden in een modulair systeem werden schetsen gemaakt. Onderstaande figuur toont een eerste idee.



Figuur 31: Adhesive: Opbouw 1

Figuur 31 toont een aanpassing van de behuizingwand. Het onderdeel moet dan in de kamer gelegd worden zodat het onderdeel gefixeerd en geseald is ten opzichte van de behuizing. Deze wanden verhogen geeft de mogelijkheid om meerdere kabels op elkaar te plaatsen. Om ervoor te zorgen dat er geen vuil of vocht tussen de kabels door kan, worden de onderdelen voorzien van een vervormd oppervlak of een labyrint.

Een tweede idee is meer gericht op de fixatie en sealing tussen behuizing en het verlijmd onderdeel. Hier wordt opnieuw een onderdeel op de kabel gelijmd en daarna in de wand geplaatst. Het onderdeel is voorzien van een labyrint dat aansluit met de behuizing. Hierdoor wordt vuil en water uit de behuizing gehouden. Onderstaande figuur toont een verduidelijking.



Figuur 32: Adhesive: opbouw 2

4.1.2 Broom stick

Dit concept is gebaseerd op een systeem dat bezemstelen vasthoudt. Door de bezemsteel van onderen naar boven in het systeem te schuiven draait een onderdeel rechtsom. Wanneer de bezemsteel losgelaten wordt, beweegt de steel in het systeem naar beneden. Het draaiende onderdeel draait linksom en duwt door zijn variabele diameter tegen de steel. Hierdoor wordt frictie gegenereerd en blijft de steel hangen. Onderstaande figuur toont een reeds bestaand product.



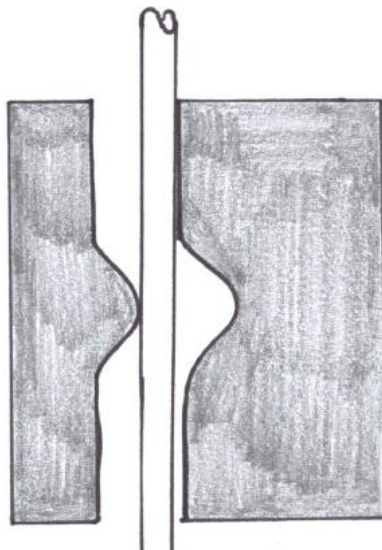
Figuur 33: Bezemsteelhouder [29]

Dit systeem kan gebruikt worden om er kabels in te schuiven en in één richting krachten op te vangen. Het nadeel is dus dat de kabel altijd dieper en dieper in de behuizing geduwd kan worden, maar wel trekkrachten kan weerstaan. Daarnaast is het een systeem dat plaats nodig heeft en als snel groter wordt als er meerdere kabeldiameters gemonteerd moeten worden. Ook zal het systeem moeilijk modulair te maken zijn. Tot slot is de opening tussen aanslag en roterend deel afhankelijk van de diameter waardoor afdichting een probleem wordt.

De voordelen zijn echter wel dat dit systeem geen afval genereert en zeer flexibel is voor verschillende kabeldiameters. Ook is het een systeem waar de kabel niet doorgestoken wordt en dus wrap-around is.

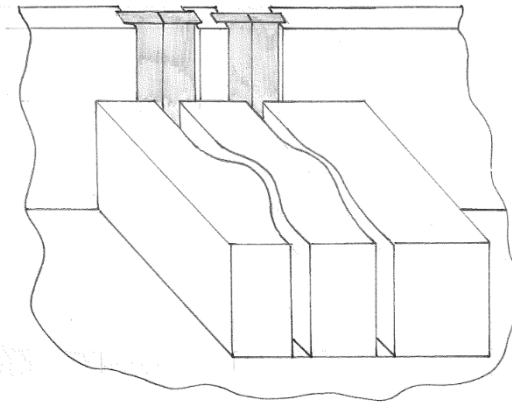
4.1.3 Chicane

Een chicane is een dubbele bocht op een racecircuit. Door een kabel over een gebogen oppervlak te laten glijden wordt eveneens frictie gegenereerd op voorwaarde dat er voldoende spanning op de kabel staat. De spanning in de kabel zorgt voor



Figuur 34: Chicane-concept

normaalkrachten op het oppervlak waartegen de kabel gepositioneerd is. Om veel frictie te genereren kunnen meerdere gebogen oppervlakken gecombineerd worden in één systeem. Onderstaande figuur toont een prinseschets van dit systeem.



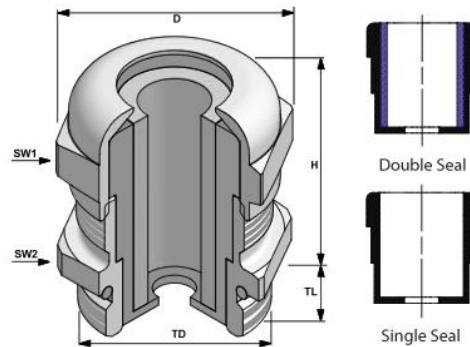
Figuur 35: Meer praktisch gericht chicane-concept

Door het concept te analyseren en voor te leggen aan een aantal experts binnen het bedrijf, kwamen al snel heel wat nadelen naar boven. Eerst en vooral zal het systeem veel plaats innemen. Daarnaast is dit principe al eens getest in een soortgelijk concept. Uit deze tests bleek dat de kabels nooit goed gefixeerd werden. Wanneer er kort en krachtig aan de kabel getrokken werd, fixeerte het systeem behoorlijk. Bij het traag trekken aan de kabel, kon de kabel vrij vlot door het systeem glijden. Ook naar kabeldiameters toe is het systeem beperkt flexibel. Tot slot blijft sealen van de kabel niet helemaal combineerbaar met het fixeren.

Naast deze nadelen is het systeem wel wrap-around en genereert het geen afval. De kabels worden op elkaar gelegd wat goed is voor het aantal kabels per oppervlakte-eenheid door de wand. Door het stapelen van kabels wordt het systeem ook grotendeels modulair. Een laatste voordeel is dat er geen extra componenten nodig zijn.

4.1.4 Gland

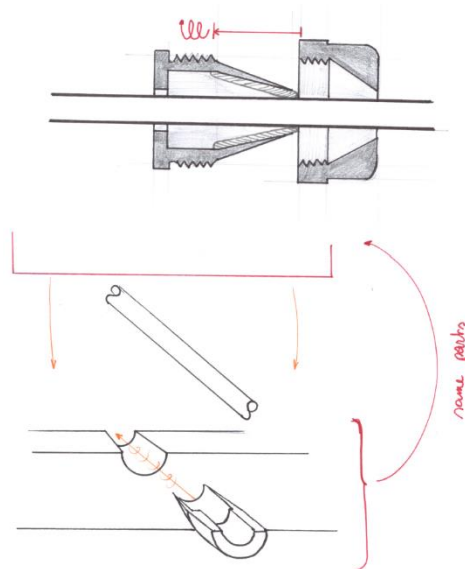
Een cable gland (Engels voor 'wartel') wordt vaak gebruikt om kabels door wanden van behuizingen te steken en dan te fixeren. Door de schroef op de wartel aan te draaien wordt de ruimte voor de rubber in de wartel kleiner. Het samendrukken van de rubber zorgt voor hoge krachten die loodrecht op de kabel staan. Deze krachten genereren frictie, die afhankelijk is van de ruwheid van de kabel en de rubber. Onderstaande figuur toont een doorsnede van het werkingsprincipe van een wartel.



Figuur 36: Warteldoorsnede [31]

Omdat dit een systeem is dat al wordt toegepast in de elektrische sector heeft dit zijn nut al zeker bewezen. De krachten die dit concept kan halen zijn uitermate groot. Ook de afdichting is door dit systeem zeer goed.

Een groot nadeel aan dit systeem is dat het geen systeem is dat rond de kabel kan geplaatst worden. Daarom werd er van dit systeem een variant geschetst die in onderstaande figuur wordt getoond.



Figuur 37: Schets variant wartelprincipe

Door een wartel in tweeën te delen kan het systeem rond een kabel geklikt worden en daarna in de wand geklikt worden. Deze wand wordt dan ook over de kabel geklikt.

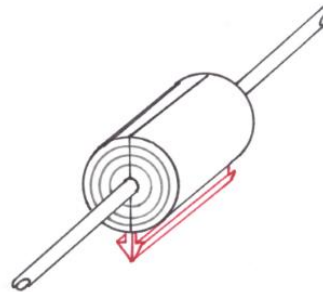
Door een wand op te bouwen met openingen kan het systeem modulair opgebouwd worden. Het systeem wordt vooral aan de buitenkant van de behuizing opgebouwd

waardoor er geen ruimte in de behuizing wordt gebruikt. Het systeem is flexibel naar kabeldiameters toe en genereert geen afval.

Langs de andere kant is het systeem groot waardoor de kabeldichtheid in de wand lager wordt. Daarnaast maakt het systeem gebruik van veel componenten waarvan sommige uit andere materialen.

4.1.5 *Onion*

Een ui is opgebouwd uit ringen. Wanneer deze groente doorgesneden is, kunnen de ringen van de ui uit elkaar gehaald worden. Met dit principe kan de diameterspreiding opgevangen worden. Door de ringen net dat beetje kleiner te maken dan de diameter van de kabel kan het onderdeel, de kabel vastklemmen. Hierdoor kunnen grote krachten gegenereerd worden om voldoende wrijving te genereren. Onderstaande figuur toont een meer concreet concept.



Figuur 38: Onion concept

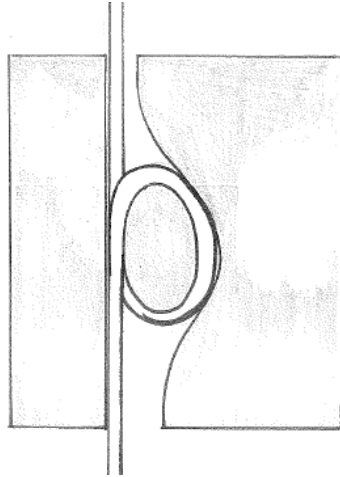
Dit concept bestaat uit een onderdeel dat rond een kabel geplooid kan worden door middel van een filmscharnier. Zo'n filmscharnier is een flinterdunne verbinding tussen twee onderdelen die uit hetzelfde materiaal als de onderdelen bestaat. De ringen op het onderdeel zijn breekpoorten die verwijderd kunnen worden bij het gebruik van een bepaalde kabeldiameter.

Voor dit concept zijn er maar enkele voordelen. Het systeem is opgebouwd uit onderdelen die rond de kabel geklikt kunnen worden. Deze onderdelen kunnen zo ontworpen worden dat het systeem modulair wordt. Het is een systeem dat zeer flexibel is naar kabeldiameter toe. Tot slot bestaat het systeem uit één component en kan de lengte van het onderdeel beperkt worden.

Het is twijfelachtig hoe goed dit systeem fixeert. Door breekpoorten uit te breken ontstaan scherpe kanten die voor wrijving kunnen zorgen maar de kabel ook kunnen beschadigen. Veel is dus afhankelijk of de poorten goed zijn uitgebroken. Door de diameterflexibiliteit is het onderdeel groot wat het aantal kabels door een wand vermindert. Tot slot is er veel afvalgeneratie.

4.1.6 Rod

Door een kabel rond een staaf te wikkelen en aan één eind te trekken kan het systeem heel wat frictie genereren. Onderstaande figuur verduidelijkt het concept.



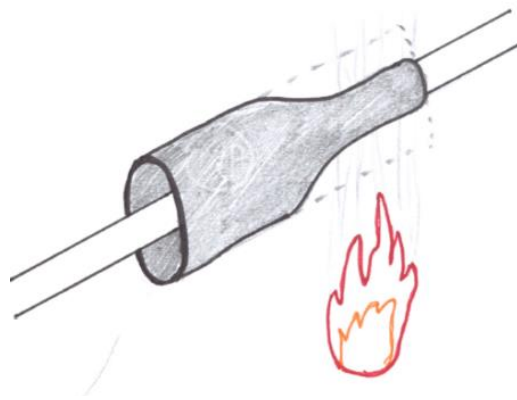
Figuur 39: Rod Concept

Dit concept is gelijkaardig aan het chicane-concept. Alleen wordt de kabel hier rond een staaf gelegd om meer wrijving te genereren. Door de kabels rond de staaf te leggen kunnen er veel kabels gestapeld worden wat goed is voor het aantal kabels per oppervlakte-eenheid. Dit bevordert eveneens de modulariteit van het systeem. Ook is het systeem volledig statisch en zijn er geen extra onderdelen nodig.

Het systeem is echter nog groter dan het chicaneconcept wat een groot nadeel is. Hierdoor wordt er veel ruimte in de behuizing gebruikt.

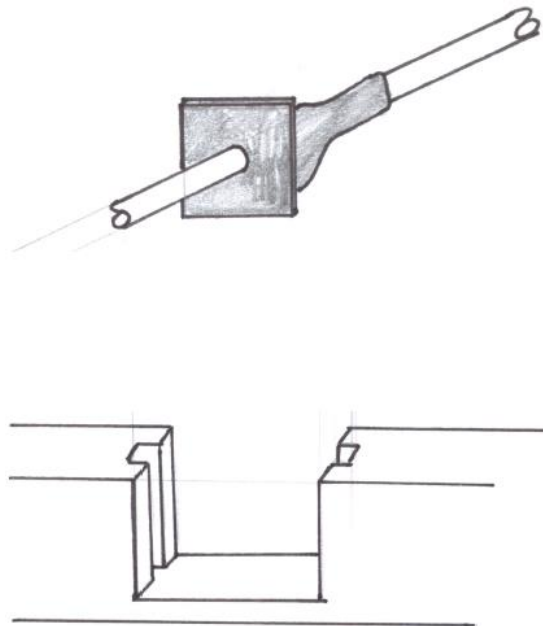
4.1.7 Heatshrink

Door een heatshrink (of krimpkous) te verwarmen, verkleint de diameter (of lengte) ervan. Krimpkous wordt nu al veel gebruikt wanneer elektrische geleiders opnieuw voorzien moeten worden van isolatie. Wanneer het polymeer krimpt, treden er spanningen op in het polymeer. Door deze spanningen ontstaan er krachten die loodrecht op de kabel staan en op hun beurt voor frictie zorgen. Onderstaande figuur toont deze werking.



Figuur 40: Heatshrink concept

Om het systeem te kunnen gebruiken werd een meer toegepast principe geschetst. Onderstaande figuur toont dit principe.



Figuur 41: Toegepast heatshrink concept

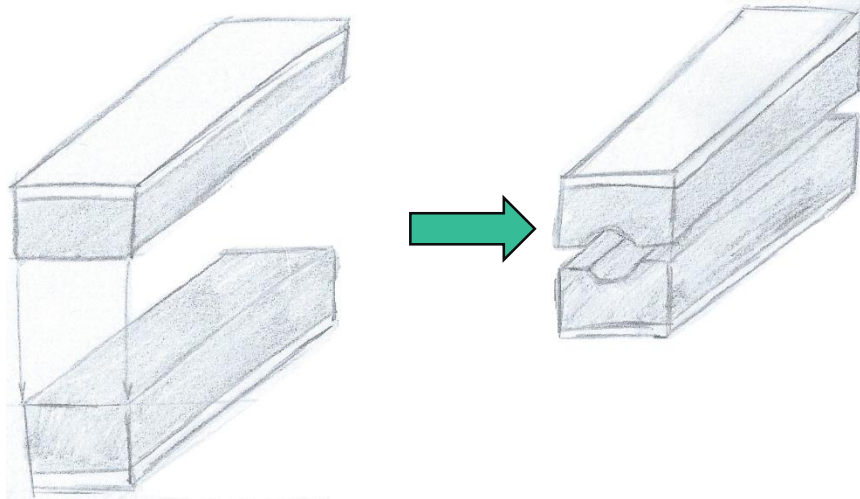
Door een krimpkous te gebruiken met een verdikking aan of een verdikking in de krimpkous te stoppen, kan de kabel gefixeerd worden door de verdikking in de wand te schuiven. Door de vorm van de verdikking aan te passen kan het systeem modulair gemaakt worden. Doordat de krimpkous op zich al vrij veel frictie genereert, hoeft de verdikking niet groot te zijn. Hierdoor kunnen er heel veel kabels dicht bij elkaar gemonteerd worden.

Frictie wordt wel veroorzaakt door de lengte van de krimpkous. Deze lengte kan beperkt blijven waardoor de ruimte in de behuizing, gebruikt door het systeem, ook beperkt kan worden.

Een krimpkous krimpt in diameter wanneer deze verwarmd wordt. Wanneer de kous open is, krimpt het niet rond de kabel en genereert het geen wrijving. De kabel moet altijd door een krimpkous gestoken worden en is dus niet wrap-around, wat een groot nadeel is.

4.1.8 Foam

Het idee is om twee onderdelen zodanig tegen een kabel aan te drukken, dat het materiaal in de onderdelen vervormt. Wanneer het materiaal vervormd is, wil het terug naar zijn oorspronkelijke vorm. Hierdoor zullen normaalkrachten ontstaan. Om de wrijvingskrachten te vergroten, kan het oppervlak van deze materialen aangepast worden met een lijmlaag of het oppervlak kan ruwer gemaakt worden. Figuur 42 toont een verduidelijking van het concept.



Figuur 42: Foam concept

Door een materiaal te gebruiken dat vervormd en ingedrukt wordt, kan een compact systeem ontworpen worden dat voldoende fixeert. Dit bevordert het aantal kabels per oppervlakte-eenheid dat in de wand gemonteerd wordt. Door dit materiaal in een compacte behuizing te stoppen, wordt het systeem modulair en wordt er weinig volume van de behuizing ingenomen voor het fixeren. Ook kan de behuizing opgebouwd worden in weinig onderdelen. Door onderdelen te ontwikkelen waarvan niets afgebroken moet worden of dergelijke, kan vermeden worden dat het systeem afval genereert.

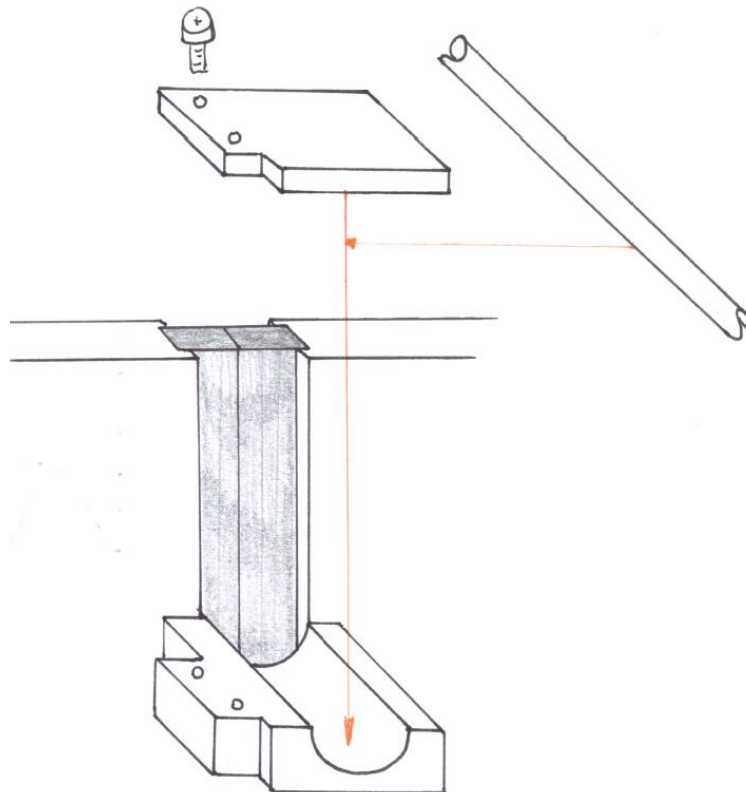
4.1.9 Screw

De rechtlijnige beweging van een schroef kan grote krachten genereren. Hierdoor kan op eenvoudige manier, veel wrijving tussen kabel en systeem ontwikkeld worden. Een goed voorbeeld hiervan zijn de kroonsteentjes die men gebruikt om ontblote, solide, koperen geleiders te monteren in schakelingen. Onderstaande figuur toont zo'n kroonsteentje.



Figuur 43: Screw
Concept (Kroonsteentje)

Bij het gebruik van onderdelen zoals een kroonsteentje is het moeilijk om onderdelen te maken die rond een kabel geplooid of geklikt kunnen worden. Door de krachten die de schroef ontwikkelt, kunnen de klikkers op scharnier dan stuk of beschadigd geraken. Een alternatief systeem dat dit nadeel wegwerkt, wordt in Figuur 44 geschetst.

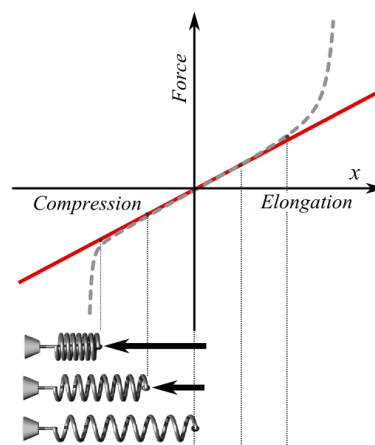


Figuur 44: Variant Screw Concept

Dit systeem is zeer flexibel in het monteren van verschillende kabeldiameters. Het installeren van de kabels gebeurt met een schroef die van bovenaf bereikbaar moet zijn. Hierdoor wordt het amper mogelijk om kabels op elkaar te gaan bouwen en wordt de modulariteit van het systeem belemmerd.

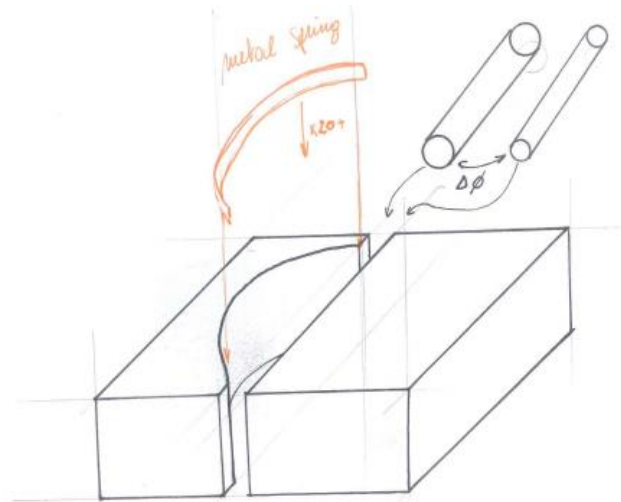
4.1.10 Spring

Wanneer de veer ingedrukt wordt zal de veer een reactiekracht en frictie genereren. Bij het verder indrukken van de veer wordt de reactiekracht groter. Dit verschijnsel wordt beschreven door de wet van Hooke (product van veerconstante en verlenging geeft een kracht). Onderstaande figuur toont het spanningsverloop in een materiaal bij het aanleggen van een kracht.



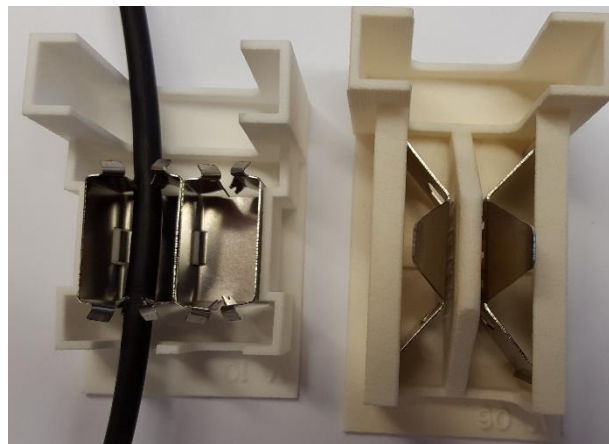
Figuur 45: Relatie tussen trek/druk en veerkracht [42]

In dit concept wordt geen stereotype veer gebruikt maar wel de verende eigenschap van een materiaal. Door bijvoorbeeld een metalen plaatje te plooiën (en niet plastisch te vervormen) zal de veerkracht van het plaatje toenemen naarmate het verder buigt. Deze eigenschap is bruikbaar wanneer verschillende diameters van kabels gefixeerd worden. Onderstaande figuur toont een meer toegepast concept.



Figuur 46: Opbouw met meerdere verende plaatjes

In Figuur 46 worden meerder plaatjes in een behuizing geschoven. Elk plaatje zal door zijn veerkracht een eigen kabel kunnen fixeren. Op dit principe zijn er in het bedrijf al een aantal concepten uitgewerkt. De figuur hieronder toont een praktische uitwerking hiervan.

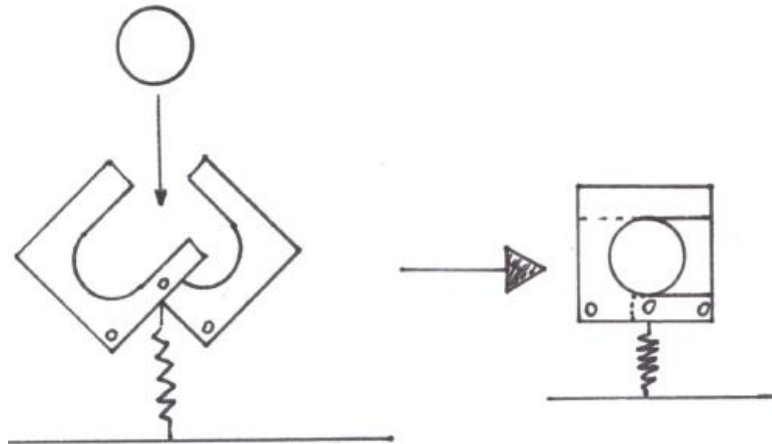


Figuur 47: Spring concept uitgewerkt door Stephane Collaert

Wanneer dit concept getest wordt en er een kabel wordt ingeschoven, valt op dat het metalen plaatje weinig veert en in de kabel snijdt. Het gebruik van metalen plaatjes zal er ook voor zorgen dat het systeem heel groot wordt. Hierdoor wordt het volume in de behuizing, gebruikt voor fixatie, te groot. Met als gevolg dat de kabel dichtheid te klein wordt.

4.1.11 *Flextool*

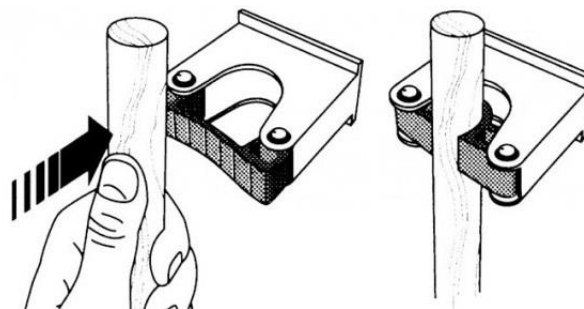
In dit concept wordt een kabel in een onderdeel geduwd. Bij het duwen gaan twee onderdelen rond de kabel draaien. Voordat de kabel geïnstalleerd is wordt het onderdeel opgeduwd door een veer. Onderstaande figuur illustreert het concept.



Figuur 48: *Flextool Concept*

Er is een bedrijf dat reeds producten produceert met dit principe. Het bedrijf noemt Toolflex® en de producten die ze produceren worden in onderstaande figuur getoond.

Dit systeem wordt gebruikt om bezemstelen op te hangen. Het is een systeem dat gebruik maakt van enkele componenten om één bezem te monteren. Een kabel fixeren



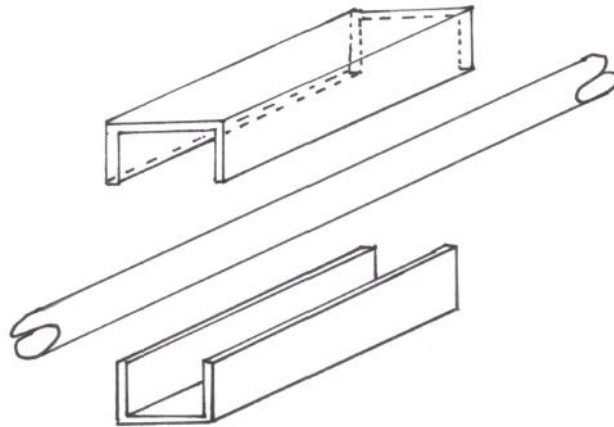
Figuur 49: *Product Toolflex® [45]*

met een variant op dit systeem, zorgt al snel voor een systeem met veel omvangrijke onderdelen. Hierdoor wordt de kabeldichtheid in de wand kleiner. Ook het monteren van bovenaf zorgt ervoor dat het systeem moeilijk modulair opgebouwd kan worden.

Het systeem is wel wrap-around en genereert geen afval wat de geringe voordelen zijn aan dit systeem.

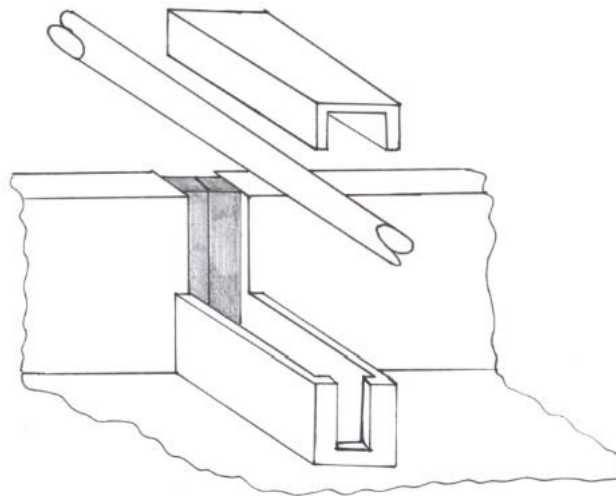
4.1.12 Click-on

Een onderdeel rond een kabel klikken is het volgende concept. De inwendige oppervlakken van het onderdeel kunnen ruw gemaakt worden om frictie te genereren. De krachten die gebruikt worden om het onderdeel dicht te klikken zorgen voor de nodige normaalkrachten. Onderstaande figuur verduidelijkt het concept.



Figuur 50: Click-on Concept

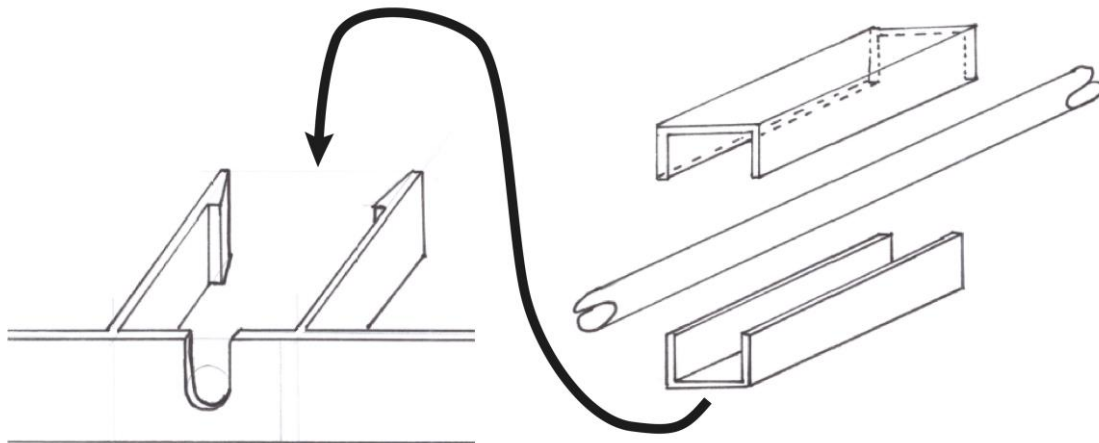
Van dit concept kunnen verscheidene varianten ontworpen worden met het oog op inbouwen in een behuizing. Onderstaande figuur toont een variant.



Figuur 51: Click on in box

De kabel kan in de behuizing geklikt worden. Wanneer deze gemonteerd is kan op het geklikte onderdeel de volgende kabel gemonteerd worden. Op deze manier wordt het concept modulair en door de onderdelen klein te houden kan het systeem een hoge kabeldichtheid verkrijgen.

Het systeem kan ook gebouwd worden door onderdelen rond kabels te klikken en dan in uitsparingen te leggen. Figuur 52 verduidelijkt deze variant.



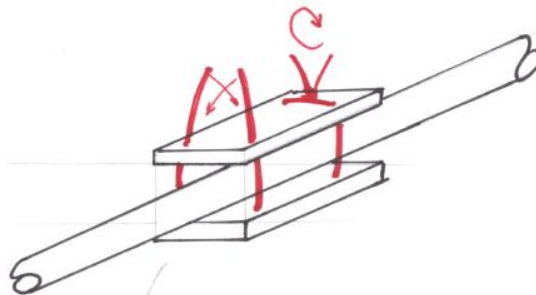
Figuur 52: Variant Click-on concept

Dit principe kan heel klein gehouden worden. Ook het aantal onderdelen kan beperkt gehouden worden. Dit minimaliseert het volume in de behuizing dat gebruikt wordt voor fixatie en maximaliseert de kabeldichtheid in de wand.

Meer voordelen zijn dat het onderste onderdeel voorzien kan worden van meerdere tanden in het kliksysteem waardoor het meerder kabeldiameters kan fixeren, dat er geen afval gegenereerd wordt en dat er nog steeds voldoende wrijving gegenereerd kan worden.

4.1.13 Twisted wire

Een laatste methode om grote normaalkrachten te genereren is het opdraaien van metalen draden. Deze draden worden door een onderdeel geplaatst dat rond een kabel geplaatst wordt. Wanneer de draden opgedraaid worden, verkleint de lus rond de kabel. Wanneer de lus klein genoeg is, spant het onderdeel rond de kabel. Onderstaande figuur illustreert het concept.



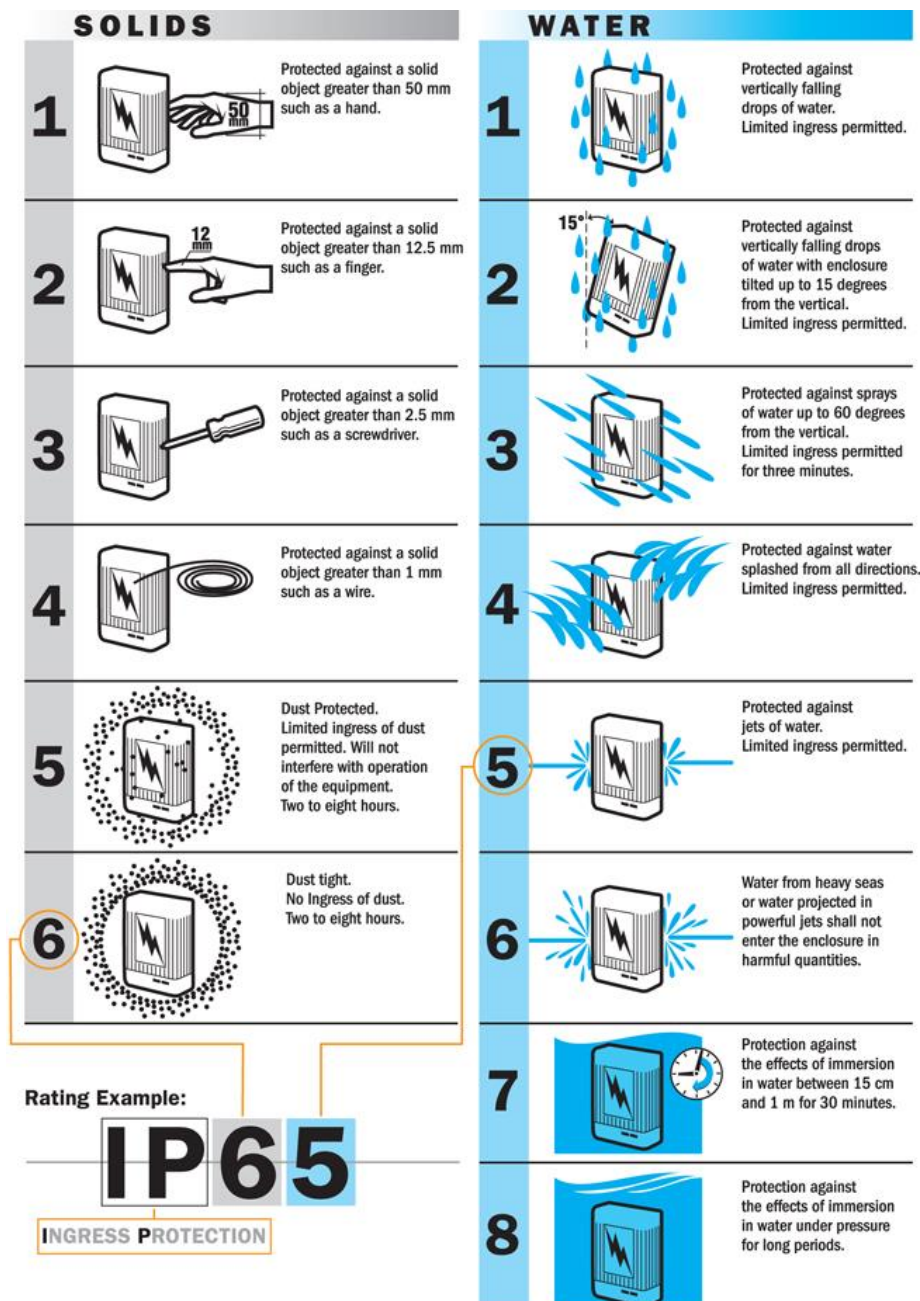
Figuur 53: Twisted wire Concept

Dit concept vereist vrij veel werk om te installeren. Ook vereist het veel onderdelen. Door na het installeren de draadlengtes in te korten wordt er afval gegenereerd.

Echter kan de grootte van het systeem wel beperkt worden. Dit bevordert de kabeldichtheid en vermindert het volume in de behuizing gebruikt voor fixatie.

4.2 Sealingconcepten

Net als voor het fixeren worden er ideeën verzameld om de kabel te sealen. Het afdichten van een kabel zorgt ervoor dat er geen voorwerpen of vloeistoffen in de behuizing kunnen indringen. Om te beschrijven in welke mate de afdichting hierin slaagt, wordt getest welke vorm of hoeveelheid in de behuizing kan indringen. Doorgaans wordt er een genormeerd systeem toegepast om deze eigenschap te testen. Dit systeem wordt genormeerd in de IEC-60529 norm. In deze norm worden behuizingen geclassificeerd in IP-graden die in onderstaande figuur worden getoond.



Figuur 54: Ingress Protection grades zoals beschreven in IEC-60529 [43]

4.2.1 Adhesive Concept

Door een uithardbare vloeistof rond een kabel te gieten kan de kabel afgedicht worden. De kabel moet dan eerst in een onderdeel gelegd worden. De vloeistof kan zich nestelen tussen een onderdeel en de kabel. Hierdoor worden alle ruimten tussen kabel en systeem opgevuld en kan er niets via deze ruimten in de behuizing geraken.

Dit principe wordt 'potting' genoemd en wordt in verscheidene elektronietoepassingen gebruikt om componenten af te schermen van externe mechanische effecten. [18] Voor dit proces worden vooral epoxyproducten en silicone gebruikt. [18] Onderstaande figuur



Figuur 55: Potting van elektronica componenten [18]

toont een elektronicabehuizing die gevuld wordt met een epoxyproduct.

Door een onderdeel te potten kan het systeem heel klein gehouden worden. Dit bevordert de modulariteit van het systeem en de kabeldichtheid. Ook wordt hierdoor het volume in de behuizing geminimaliseerd worden voor sealing.

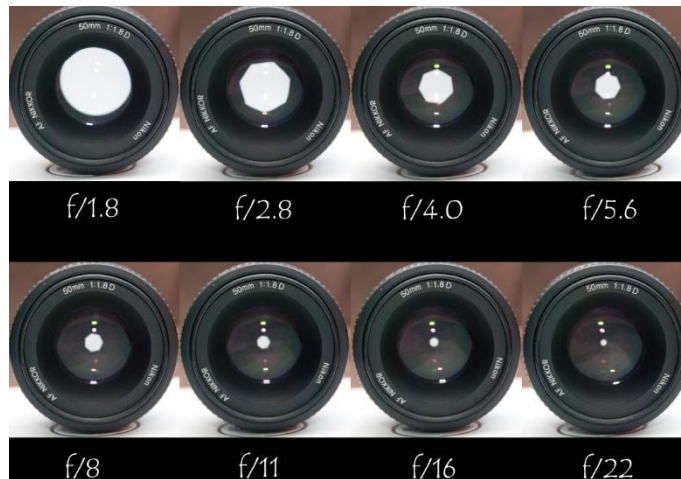
Dit systeem is zeer flexibel voor kabeldiameters en er zijn geen andere onderdelen nodig om de afdichting te realiseren.

Dit principe is echter niet zo geliefd in de field. In de field worden methodes met gereedschap zo veel mogelijk geweerd. Dit om de installateurs zo weinig mogelijk op te zadelen met verschillende gereedschappen.

Een ander groot nadeel hieraan is de afvalgeneratie. Al snel kan met dit principe gemorst worden of zijn er lege cartridges die moeten weggegooid worden. Dit wordt ook zoveel mogelijk gemedend in de field.

4.2.2 Camera shutter

Een camera shutter of sluiters wordt in een camera gebruikt om licht door te laten over een bepaalde tijd bij het nemen van een foto. Een kortere tijd zorgt ervoor dat de foto heel stabiel en scherp is. Wanneer de sluiters langer open blijft kan er meer licht gebruikt worden om een beeld te maken. Bewegende aspecten in het beeld worden dan niet scherp gefotografeerd. Onderstaande figuur toont het principe van een camera sluiters.



Figuur 56: Sluiten van een Camera-sluiters [44]

Het systeem zorgt ervoor dat de sluiters vanuit het middelpunt van de lens opent. De inwendige diameter van het gat dat licht doorlaat wordt dus steeds groter. Dit principe zou gebruikt kunnen worden om de spreiding in kabeldiameters op te vangen. De kracht waarmee de sluiters op de kabel duwt bepaald hoe goed de afdichting werkt. Echter mag de kracht niet te groot zijn zodat de kabel niet beschadigd wordt.

Om een systeem als dit te bouwen zijn al snel heel veel ingewikkelde onderdelen nodig die samen een nog ingewikkelder systeem vormen. Dit systeem is groot waardoor de modulariteit in het gedrang komt. Ook de kabeldichtheid en het volume in de behuizing voor sealing wordt hierdoor slecht beïnvloedt.

4.2.3 Cable gland

Net zoals het fixeren met een wartel is dit systeem ook bruikbaar om te sealen. Door het dichtdraaien van de wartel, sluit de rubber aan met de kabel. Op die manier wordt frictie gegenereerd maar worden ook de ruimten tussen kabel en systeem dicht geknepen. Een doorsnede van dit systeem wordt getoond in Figuur 36.

De sealing van een wartel wordt als reeds gewaardeerd in de elektrotechniek en haalt hoge IP-graden. De verdere voor- en nadelen van dit systeem worden besproken in 4.1.4.

4.2.4 Onion seal

Zoals reeds vermeld bij fixatie, kan dit principe een grote spreiding van kabeldiameters overbruggen. Voor elke kabeldiameter kan een ring verwijderd worden zodat het systeem nauw aansluit tegen de mantel van de kabel.

Op deze manier worden al oplossingen aangeboden door een Amerikaans bedrijf. Dit bedrijf produceert afdichtingen die bestaan uit twee helften. [19] Deze helften zijn identiek aan elkaar en bestaan uit lagen die weggehaald kunnen worden. [19] Op deze manier kan het systeem aangepast worden aan de kabeldiameter die geïnstalleerd moet worden. Onderstaande figuur toont het effectieve product.



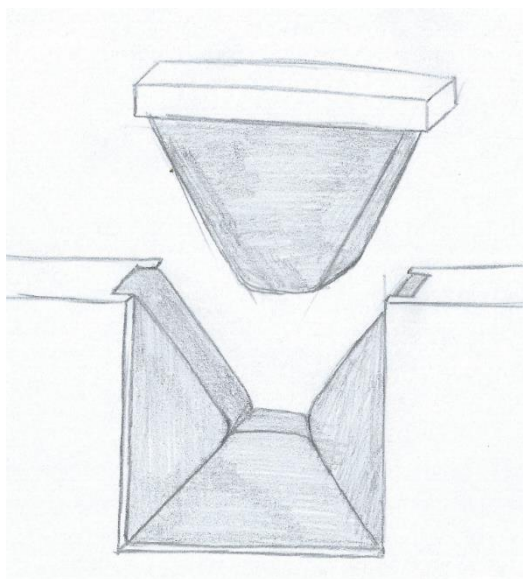
Figuur 57: Multidiameter™-product van Roxtec [19]

Dit principe is een zeer efficiënt afdichtingsmiddel. Het grote voordeel is dat het zeer flexibel is voor verscheidene kabeldiameters. Eveneens kan het systeem klein gehouden worden waardoor het volume in de behuizing voor sealing geminimaliseerd kan worden en de kabeldichtheid doorheen de wand bevordert kan worden.

Volgens werknemers bij CommScope is dit een zeer duur systeem. Ook is het een systeem dat veel afval genereert.

4.2.5 Rubber wall

Dit concept bestaat uit een volledige wand uit een vervormbaar materiaal. De bedoeling is dat de kabel op het vervormbaar materiaal wordt gelegd dat vast aan de behuizing zit. Daarna wordt er een onderdeel met datzelfde materiaal op de kabel geplaatst. De kabel zal dan onder en boven geseald worden door onderdelen die de vorm van de kabel aannemen. Onderstaande figuur toont een schets van dit concept.



Figuur 58: Rubber wall concept

Zoals in de figuur al snel opvalt is dit een omvangrijk systeem. De kabeldichtheid is enorm laag. Daarnaast is het een systeem met heel wat onderdelen die enkel proberen te sealen.

Aan dit systeem zijn ook voordelen verbonden. Zo wordt er geen volume in de behuizing benut voor de sealing, kan het modulair opgebouwd worden en genereert het geen afval.

4.2.6 *Heatshrink*

Net zoals bij de fixatieconcepten kan een krimpend polymeer gebruikt worden om de ruimte tussen kabel en systeem te minimaliseren. In Figuur 40 wordt dit principe verduidelijkt.

De ervaring leert dat krimpkous gemaakt is om kabels af te dichten. Het vroegere Raychem is met deze technologie overigens zeer vertrouwd.

4.2.7 *Foam*

Twee materialen, die vervormd worden door een kabel, nemen de omtrekform van de kabel aan. Hierdoor wordt de ruimte tussen kabel en systeem geminimaliseerd. In Figuur 42 wordt dit concept verduidelijkt.

4.3 Conceptkeuze

Na het verzamelen van concepten kunnen de betere ideeën geselecteerd worden. Bij elk concept werden de voor- en nadelen uitgediept. Op basis daarvan worden de concepten tegen elkaar afgewogen.

Om het vergelijken te vergemakkelijken wordt gebruik gemaakt van een PUGH-kaart. Deze kaart verzamelt alle quoterings die de concepten halen op een aantal vereisten. In deze masterproef worden de vereisten gequoteerd van 0 tot 10. Het geven van een punt gebeurt door het onderling vergelijken van de concepten. Er kan één concept zijn dat een hoog punt haalt op een bepaald aspect waarna de andere concepten hiermee vergeleken worden. Om alle concepten te testen op elke vereiste is er niet genoeg tijd. Quoterings worden gevoelsmatig toegekend. De quoterings worden gegeven op de volgende vereisten:

- 🌀 Push/pull forces of Sealability,
- 🌀 Modularity,
- 🌀 Wrap around,
- 🌀 Space in box,
- 🌀 Cable density,
- 🌀 Flexible for diameters,
- 🌀 Number of components,
- 🌀 Waste generation.

De PUGH-kaart voor de fixatieconcepten wordt getoond in onderstaande tabel.

Tabel 5: PUGH kaart fixatiekeuze

*PUGH chart
Fixation*

	Adhesive	Broom	Chicane	Cable Gland	Onion	Rod	Heatshrink	Foam	Screw	Spring	Flextool	Click-on	Twisted Wire
Push/pull forces	10	5	3	9	5	4	8	9	10	8	6	8	9
Modularity	9	4	7	8	5	7	8	9	3	5	5	9	4
Wrap around	8	9	9	8	8	6	0	10	5	8	8	9	4
Space in box	9	5	2	9	5	3	7	8	6	3	7	8	6
Cable density	9	6	8	3	3	5	6	8	6	6	5	7	5
Flexible for diameters	5	9	6	6	8	8	8	8	9	7	6	6	8
Number of components	9	5	8	5	7	9	9	8	3	4	4	8	4
Waste generation	3	10	10	10	3	10	8	10	10	10	10	10	6
Score	62	53	53	58	44	52	54	70	52	51	51	65	46

Uit deze PUGH-kaart blijkt dat de volgende ideeën de betere zijn:

- 🔵 Adhesive
- 🔵 Cable gland
- 🔵 Heatshrink
- 🔵 Foam
- 🔵 Click-on

Op dezelfde manier wordt een afdichtingsconcept gekozen. Onderstaande tabel toont de PUGH-kaart voor sealing.

Tabel 6: PUGH-kaart voor Sealing

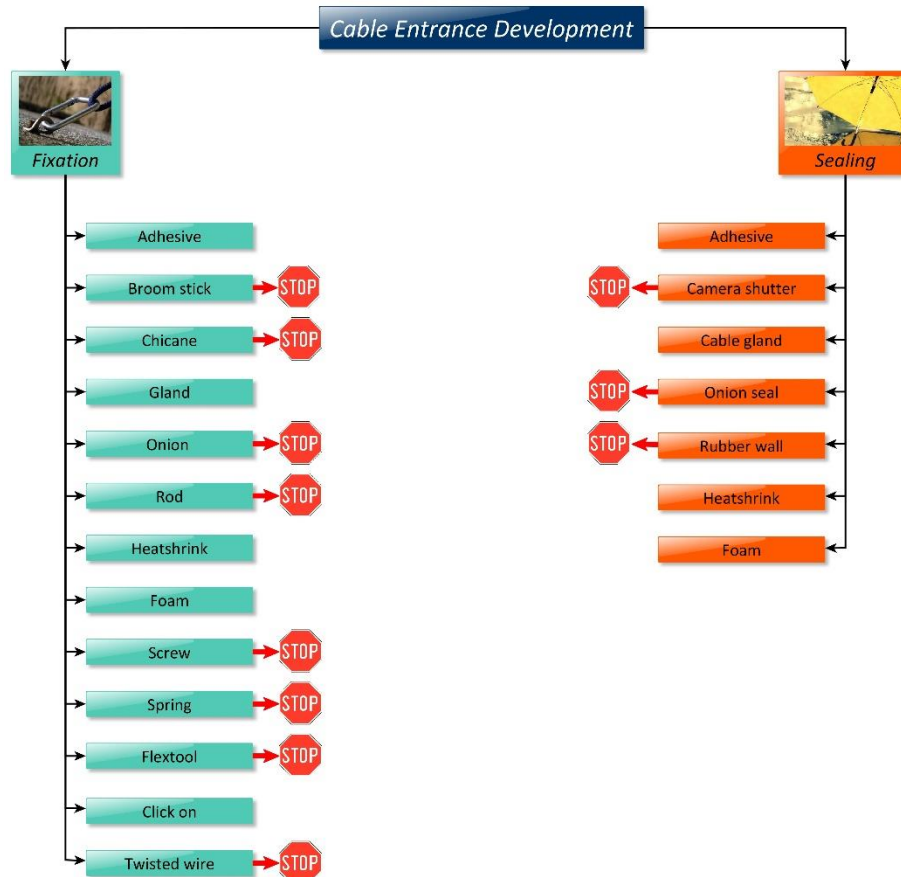
*PUGH chart
Sealing*

	Adhesive	Camera Shutter	Cable Gland	Onion	Rubber Wall	Heatshrink	Foam
Sealability	10	7	10	7	6	9	9
Modularity	9	6	8	3	8	8	9
Wrap around	8	2	8	8	9	0	10
Space in box	9	3	9	5	6	7	7
Cable density	9	4	4	3	3	6	8
Flexible for diameters	5	8	6	8	8	8	8
Number of components	9	1	5	7	2	9	8
Waste generation	3	10	10	3	10	8	10
Score	62	41	60	44	52	55	69

Uit deze PUGH-kaart worden de volgende concepten gebruikt bij het verdere ontwerp:

- 🔵 Adhesive
- 🔵 Cable Gland
- 🔵 Heatshrink
- 🔵 Foam

De keuzes die gemaakt zijn hebben invloed op de mind-map waarmee de conceptfase startte. In onderstaande figuur wordt getoond voor welke concepten de ontwikkeling stopt.



Figuur 59: Mindmap na eliminatie van concepten

De voornaamste redenen om voor sommige concepten het traject te stoppen staan hieronder opgesomd. Beginnende bij fixatie:

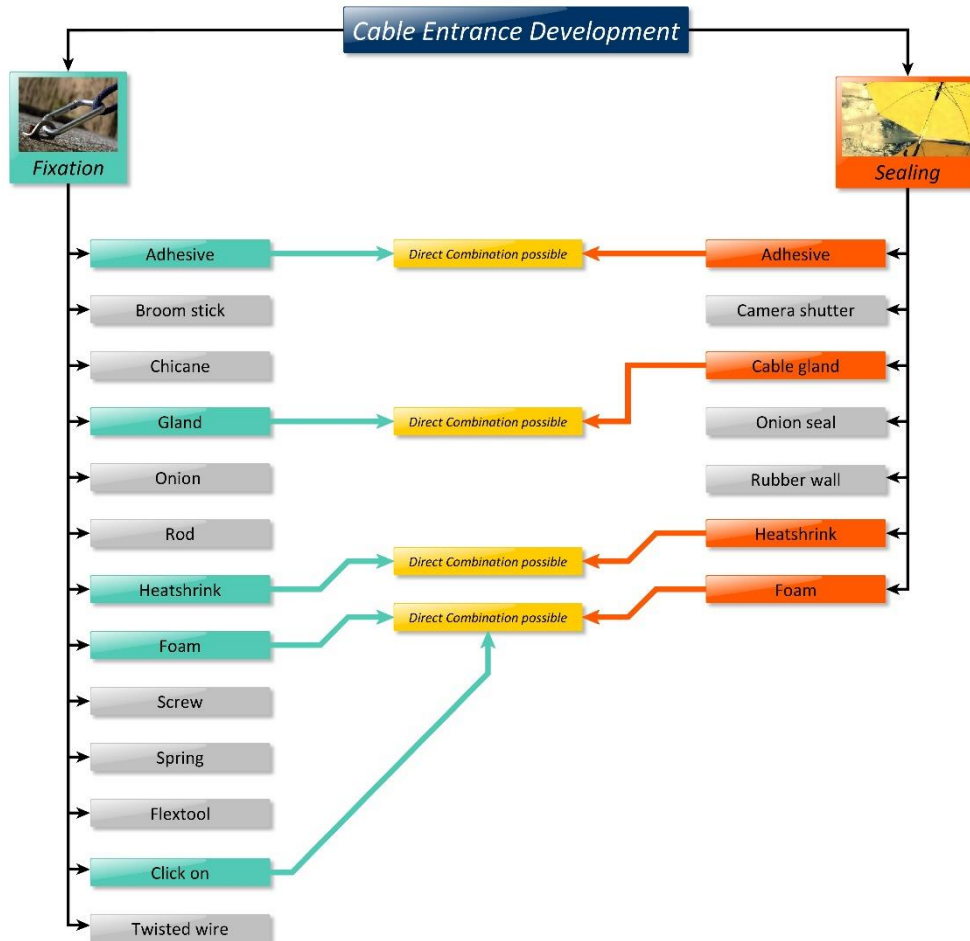
- **Broom stick:** Fixeert in één richting, moeilijk af te dichten en een groot systeem
- **Chicane:** Groot systeem dat niet goed fixeert.
- **Onion:** Te groot systeem met afvalgeneratie dat niet goed fixeert.
- **Rod:** Nog groter systeem dan chicane.
- **Screw:** veel onderdelen en enkel van bovenaf bereikbaar. Implementeren van modulariteit is moeilijk.
- **Spring:** Groot in omvang en grote kans op beschadiging van de kabel
- **Flextool:** Groot systeem dat moeilijk af te dichten is.
- **Twisted Wire:** Moeilijk te installeren, afvalgeneratie, veel onderdelen.

Voor Sealing:

- **Camera shutter:** Veel onderdelen en sealing is niet gegarandeerd.
- **Onion seal:** Veel afval en een duur systeem dat al reeds bestaat.
- **Rubber wall:** groot systeem.

4.4 Combinatie van fixatie en afdichting

Voor het verdere verloop van de conceptfase wordt geprobeerd om de gekozen concepten van fixatie en sealing te gaan combineren. Beide aspecten combineren op één en dezelfde plaats is het doel van deze stap in de conceptfase. Deze combinatie is vrij eenvoudig doordat in beide zijden van de mindmap, dezelfde concepten terugkomen. In onderstaande afbeelding wordt verduidelijkt welke concepten gecombineerd worden.



Figuur 60: Mindmap met combinatiemogelijkheden

Wanneer een **adhesive** of een lijmsoort ingespoten wordt rond een kabel, wordt de kabel gefixeerd en afdicht op één enkele plaats. Naar praktische redenen toe is dit niet het beste concept dat uitgewerkt kan worden. Vooral omdat er in de field tools nodig zijn om het product in het systeem te spuiten en omdat het product een uithardtijd nodig heeft. Dit concept heeft echter wel iets belovend en wordt verder onderzocht.

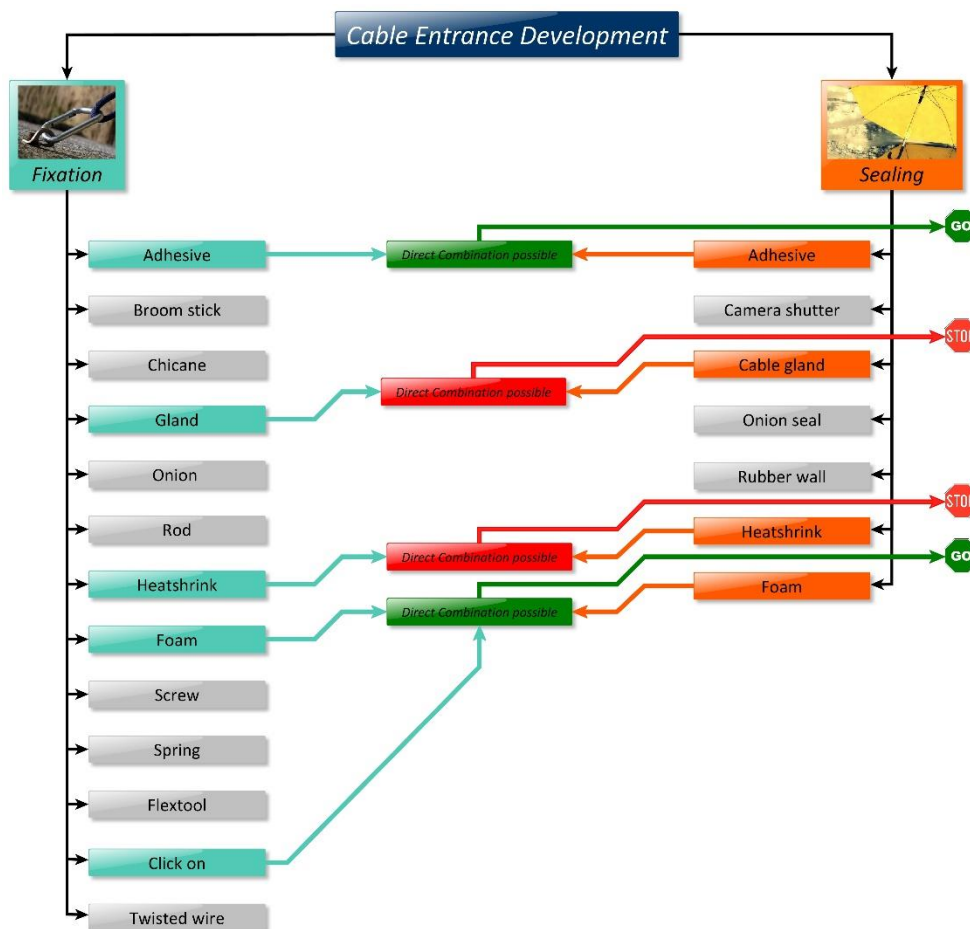
Zoals reeds aangehaald worden **wartels** al vaak gebruikt in dit soort toepassingen. Dit omdat het een systeem is dat goed sealt en fixeert. Echter zijn er bij het gebruik ervan wel enkele hindernissen. Eerst en vooral is het een systeem dat veel onderdelen bevat. Zo moet er een wand voorzien worden met schroefdraad. Daarin kan het onderdeel gedraaid worden dat rond het onderdeel zit. In het onderdeel rond de kabel moet een rubber voorzien zijn die vervormt wanneer het onderdeel gemonteerd wordt. Als dit

systeem dan ook nog eens wrap-around moet zijn, verdubbelt het aantal onderdelen. Dit leidt tot een tijdrovende installatie die ook nog eens een slechte kabeldichtheid doorheen de wand heeft.

Ten tweede moet de wartel in elkaar geschroefd en aangedraaid worden met een sleutel. Deze ronddraaiende beweging kan niet altijd uitgevoerd worden wanneer de behuizing aan een muur hangt of wanneer de behuizingwand voorzien is van een groot aantal geïnstalleerde kabels. Deze redenen zijn doorslaggevend om ook dit concept niet verder te ontwikkelen.

Een krimpkous of **heatshrink** is reeds besproken. Het grote nadeel aan dit principe is het feit dat dit principe nooit wrap-around kan zijn. Ook het toevoegen van hitte in de field vereist gereedschap. Gezien deze redenen wordt deze piste niet verder onderzocht.

Beide **foam**-concepten kunnen gecombineerd worden om te fixeren en te sealen. Eens de foam gecompriemd is, moet deze gecompriemd blijven. Daarom wordt een tweede fixatieconcept geïntegreerd om dit te verwezenlijken. Het **click-on** principe zal gebruikt worden om de onderdelen met foam (of gecompriemd materiaal) samen te houden. Ook dit is een veelbelovend concept en wordt verder onderzocht. Onderstaande figuur toont een laatste update van de mind-map. Deze update toont welke pistes tot op een bepaald niveau uitgewerkt zullen worden.

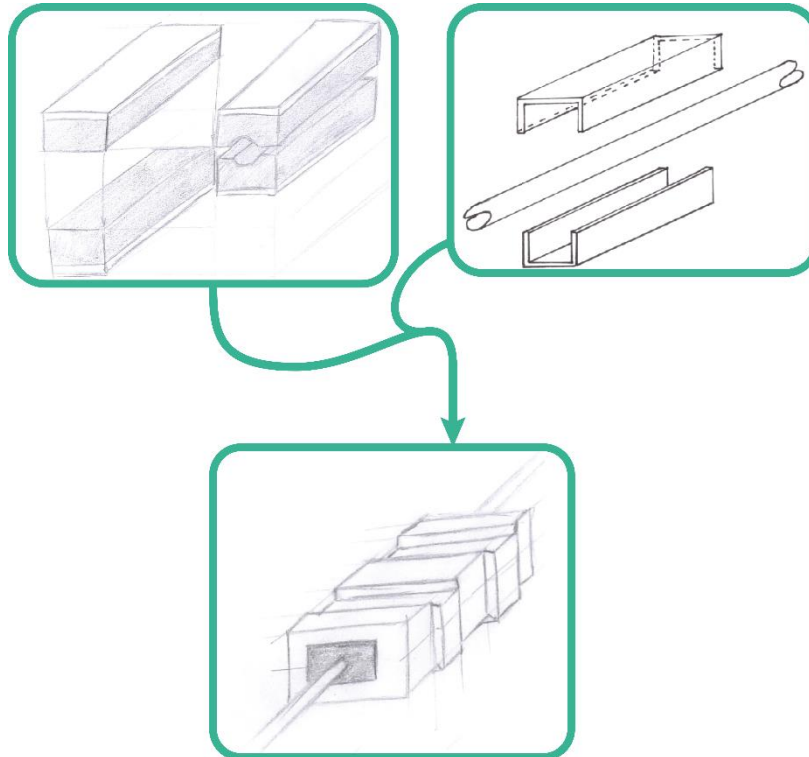


Figuur 61: Laatste update Mindmap

4.4.1 Wrijvingsconcept

Het foam concept met click-on concept berust op het feit dat hierin heel wat frictie gecreëerd wordt. Daarom krijgt het concept een nieuwe naam: **'Wrijvingsconcept'**. Dit concept zal verder uitgedacht worden om dan naar een CAD-pakket te kunnen overstappen om meer praktisch gericht te ontwerpen.

Het verder uitdenken begint bij het samenbrengen van de twee concepten wat in onderstaande figuur geïllustreerd wordt.

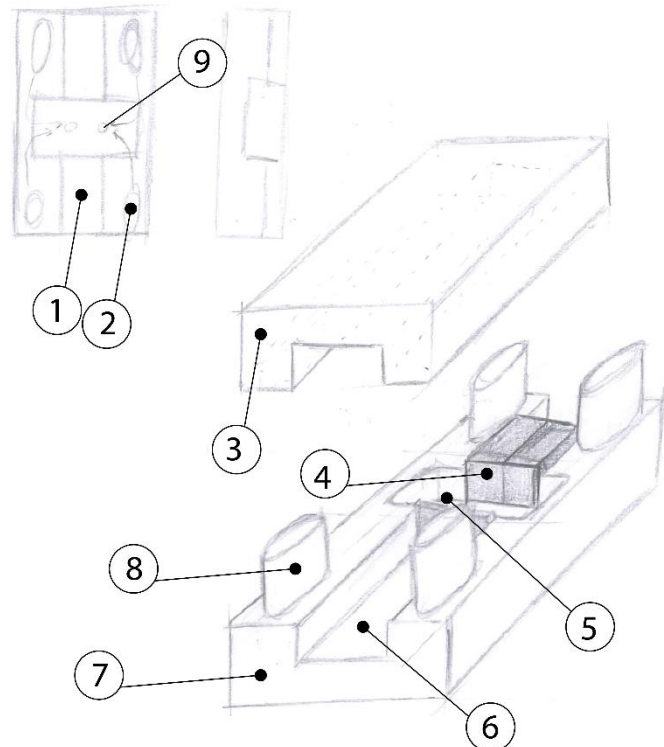


Figuur 62: Samenvoegen van Foam en Click-on concept

De uitkomst van deze combinatie wordt onderaan Figuur 62 geschetst. Dit is een systeem dat bestaat uit twee verschillende onderdelen. Een onderkant en bovenkant die elk voorzien zijn van een laag samendrukbaar materiaal. Het click-on gedeelte houdt beide delen samen.

4.4.2 Lijmconcept

Om te vermijden dat er een tool nodig is in de field werd dit concept aangepast. De verbeteringen worden geschetst in onderstaande figuur.



Figuur 63: Verbeterd lijmconcept

Om bovenstaand concept te gebruiken in de field, zijn enkel de twee onderdelen (3 en 7) nodig die in Figuur 63 getoond worden.

De kabel moet in de gleuf (6) van de onderkant (7) gelegd worden. In de onderkant is een kamer (5) voorzien die breder is dan de gleuf. In deze kamer zal later de lijm gespoten worden. De afdichtingen (4) zorgen ervoor dat de lijm niet uit de kamer kan wegvloeien.

Bij aankoop van het systeem is de bovenkant (3) gevuld met twee componenten die gemengd moeten worden tot een hars of lijm. De onderkant (7) is voorzien van plunjers (8) die in de bovenkant geduwd moeten worden. Doordat de plunjers in de gaten (2) van de bovenkant schuiven, worden de vloeistoffen naar de kleine gaatjes (9) geduwd. Tijdens dit traject zullen de componenten op één of andere manier gemengd worden tot een lijmmengsel.

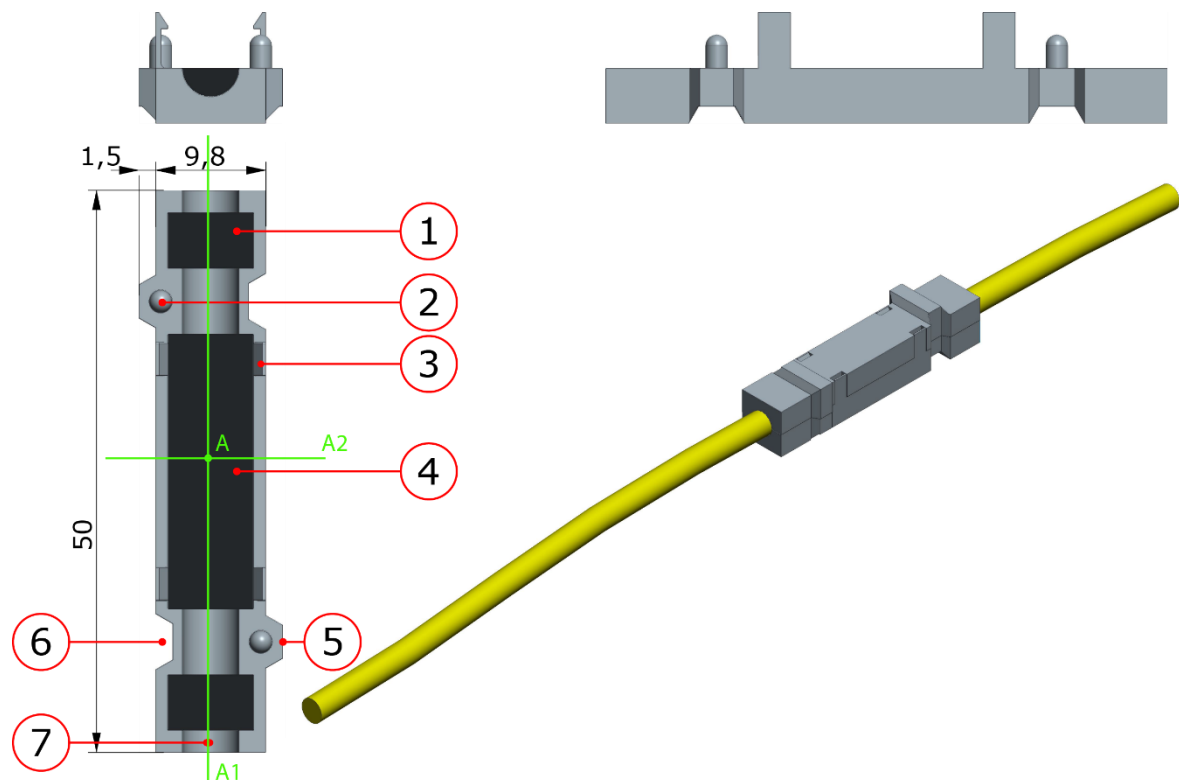
Nadat de twee onderdelen tegen elkaar zijn geduwd, zal de lijm een dusdanig traject hebben afgelegd dat het volledig gemengd is en volledig rond de kabel is gevloeid. Tot slot moet er enkel gewacht worden tot de lijm genoeg uitgehard is. Vanaf dat moment is de kabel voldoende gefixeerd en geseald.

5 Prototyping wrijvingsconcept

Na het selecteren van een concept en het schetsen van een mogelijke uitwerking, wordt overgestapt naar een CAD-pakket om 3D-modellen te creëren die gebruikt worden om 3D-geprinte versies te bestellen.

5.1 Prototype-ontwerp

Een eerste CAD-design van dit concept wordt getoond in onderstaande figuur.



Figuur 64: Eerste ontwerp van het wrijvingsconcept

Om te starten met een design worden een aantal zaken aangenomen. De lengte, breedte en hoogte van het onderdeel rond de kabel wordt in functie van de kabel-range gekozen. Deze range bevat kabels van 1,2 mm tot 4,3 mm. Een range waarin de meest gebruikte dropkabels zich bevinden. Hierdoor moet de gleuf (7) op zo'n 5mm in diameter zijn.

Het ontwerp start met een balk met als basis. Deze balk is 50 mm lang en heeft een kopoppervlak van 10 mm bij 10 mm. Deze laatste maten worden verkleind naar 9,8mm om de onderdelen naast en op elkaar te kunnen plaatsen bij het inbouwen van kabels. Het is voornamelijk het plan om deze onderdelen te gaan 3D printen met het SLS-printsysteem bij Materialise. Als dit product gespoten wordt met een spuitgietproces, zullen deze maten aangepast moeten worden.

Daarna wordt een uitsparing (6) getekend in de zijkant van het onderdeel. Deze uitsparing wordt doorgetrokken over de onderkant. Dit om de kabels die onder elkaar worden geplaatst, onderling te fixeren en te sealen.

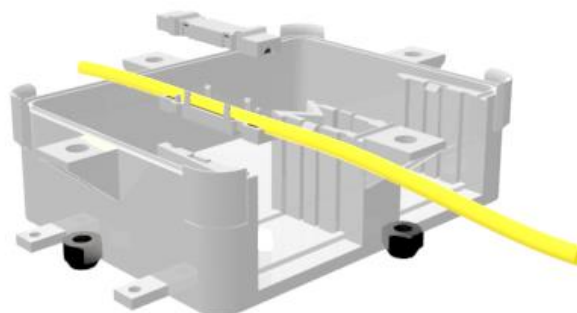
Aan de andere kant van as A1 wordt vervolgens een verdikking (5) getekend die past in de uitsparing van het blokje dat ernaast komt te liggen. De verdikking wordt doorgetrokken over de bovenkant om aan te sluiten met bovenliggende blokjes en is zo'n 0,2mm kleiner getekend dan de uitsparing. Ook hier moeten de blokjes na het printen in elkaar passen.

Om het systeem Poka Yoke te maken worden de uitsparing en de verdikking geroteerd rond punt A. Hierdoor maakt het niet uit hoe de installateur het blokje op de kabel klikt. Momenteel heeft het onderdeel wel een boven en onderkant. De installateur zal in de field het onderdeel hooguit 180° moeten draaien rond de axiale as van de kabel. Dit wordt op dit moment niet gezien als hinderlijk en blijft zo in het design. Het onderdeel is nu modulair en kan opgebouwd worden in rijen en kolommen. De onder-, boven- en naastliggende onderdelen sluiten bij elkaar aan.

Vervolgens wordt het onderdeel in twee gedeeld. Hierdoor kan het onderdeel door het midden geopend worden om plaats te voorzien voor het flexibele fixatiemateriaal. Alsook om de kabel te kunnen plaatsen in het onderdeel. Een afdichtingsfoam (1) wordt voorzien om te kabel eventueel extra te sealen. Deze plaats wordt gespiegeld rond as A2 om zowel de achter- als voorkant van de kabel extra af te dichten. Het fixatiemateriaal (4) wordt geplaatst in een grote kamer. Het volume materiaal dat hier geplaatst kan worden kan voldoende zijn om een kabel te fixeren. Dit laatste moet bevestigd worden door trektesten.

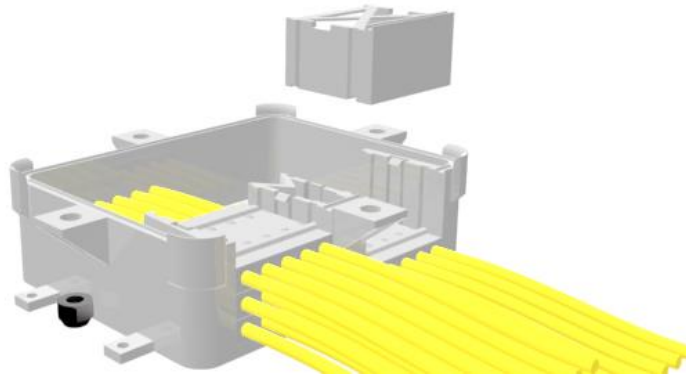
Tot slot werd de onderkant voorzien van snap-fits of klikkers. Deze klikker houden de boven- en onderkant bij elkaar nadat de kabel werd gemonteerd. Het design ervan wordt in samenspraak met experts ter zake uitgewerkt. De klikkers alleen kunnen geen axiale krachten opvangen. Daarom worden verstevigingspennen (2) getekend om de bovenkant passend op de onderkant te houden. Ook werd er nog een gleuf (7) voorzien voor kabels tot en met 5 mm.

Nu een onderdeel ontworpen is om rond de kabel te installeren, kan een ontwerp uitgedacht worden om de kabels te fixeren en te sealen in de behuizing. Onderstaande figuur toont het eerste ontwerp van de behuizing.



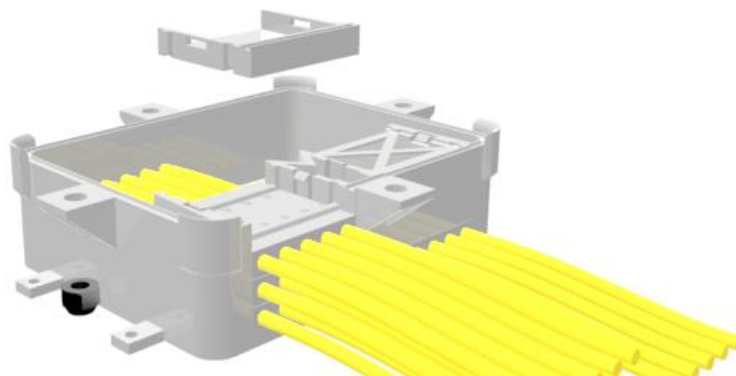
Figuur 65: Box met fixatie- en sealingsysteem

In de behuizing kunnen nu kabels naast elkaar gelegd worden. De overige open ruimten in de behuizingwand wordt opgevuld met zogenaamde *dummyonderdelen*. Deze onderdelen worden getoond in Figuur 66 en Figuur 67.



Figuur 66: Hoog dummyonderdeel

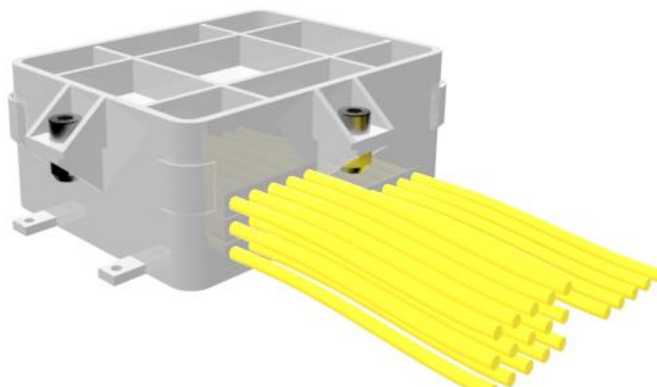
Het hoog dummyonderdeel vult de spatie op boven een laag geïnstalleerde kabels. Het onderdeel heeft de hoogte van twee lagen en een stuk extra dat aansluit met de rand van de behuizing.



Figuur 67: Laag dummyonderdeel

Het lage dummyonderdeel is net hoog genoeg om de resterende ruimte op te vullen en aan te sluiten met de rand van de behuizing.

Om het geheel volledig te sluiten is een deksel voorzien dat vastgeschroefd wordt. Deze samenstelling wordt getoond in onderstaande figuur.



Figuur 68: Volledige opbouw van het eerste concept

Deze onderdelen werden een eerste keer geprint op de polyjet 3D-printer van het bedrijf.

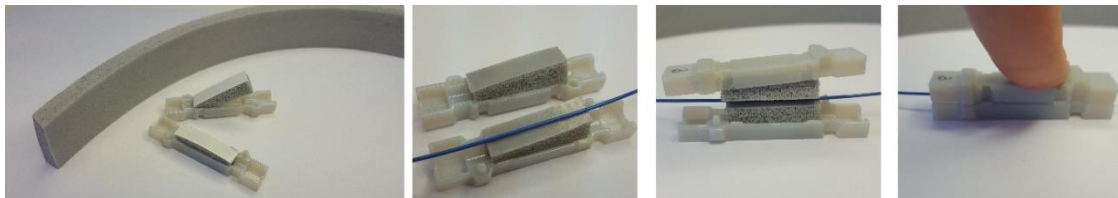
5.2 Trektesten en bespreking van het eerste prototype

Om een globaal beeld te krijgen van de prestatie van het prototype worden enkele trektesten gedaan. Hiervoor worden kabels gebruikt die verschillend zijn van diameter, vorm en opbouw. De kabels worden toegelicht bij elke test. Ook de foam die gebruikt wordt in het prototype wordt verder toegelicht.

5.2.1 Trektesten kabel diameter 0,75mm

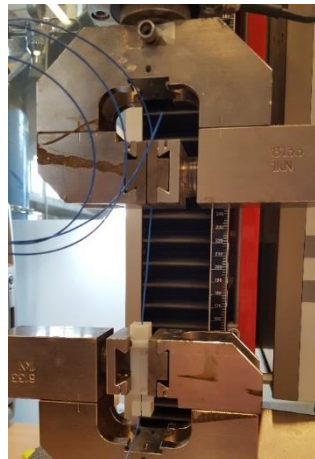
Om dit concept aan een eerste test te onderwerpen wordt een vervormbaar materiaal gezocht dat in het onderdeel geplaatst kan worden. In het magazijn van CommScope liggen verscheidene foams die voorzien zijn van een plaklaag. Deze foams kunnen als plakband gekleefd worden op eender welk oppervlak.

In dit concept wordt deze functie anders gebruikt. De foam wordt niet in het onderdeel gekleefd maar wordt met de kleefzijde naar boven, in het onderdeel gelegd. Dit wordt getoond in de linkse foto van Figuur 69.



Figuur 69: Installatie van één kabel in het wrijvingsconcept

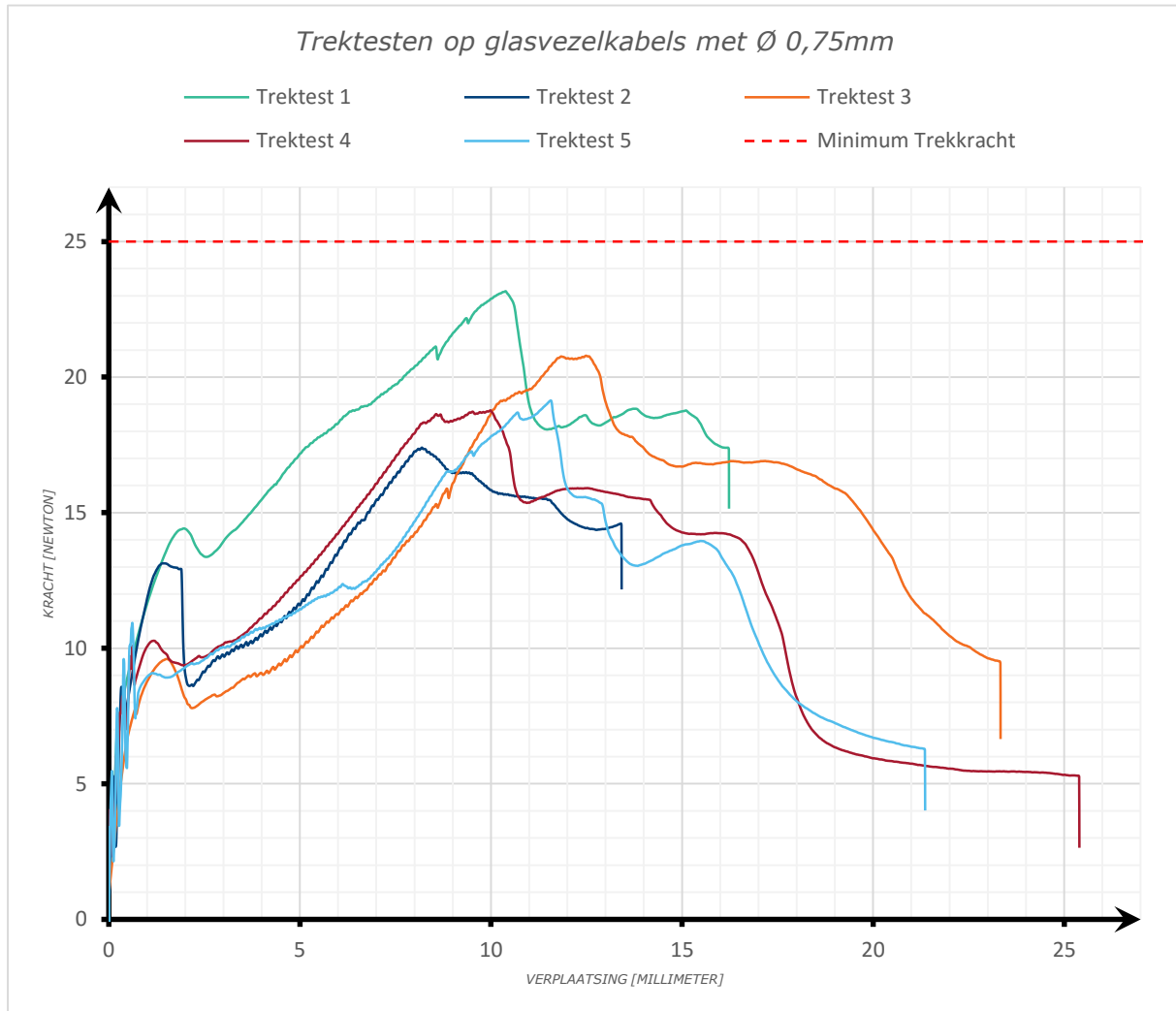
Nadat de onderdelen geknipt en geplaatst zijn, kan de folie van het klevend vlak verwijderd worden (Figuur 69, tweede foto van links). De kabel wordt op de onderkant gekleefd waarna de bovenkant bovenop de kabel wordt geklikt (twee laatste figuren van Figuur 69). Nu kleven beide foams op elkaar met daartussen de kabel. Om na te gaan of dit systeem de fixatiekrachten van minimum 25 Newton haalt, wordt de trekbank van de Cel Kunststoffen gebruikt om de eerste testen uit te voeren. Deze testen worden gedaan met een glasvezelkabel die dunner is dan de minimale diameter uit de kabeldiameter-range die vooropgesteld werd. Het is een glasvezelkabel met diameter 0,75mm. Dit is een uiterst stevige kabel die in andere systemen gefixeerd wordt op de mantel. Deze zal zeker niet zelf breken bij de test tenzij het systeem ver boven verwachten presteert. Onderstaande figuur toont de opbouw van de eerste test.



Figuur 70: Opbouw trektest 0,75mm

5.2.2 Resultaten van glasvezelkabel met diameter 0,75mm

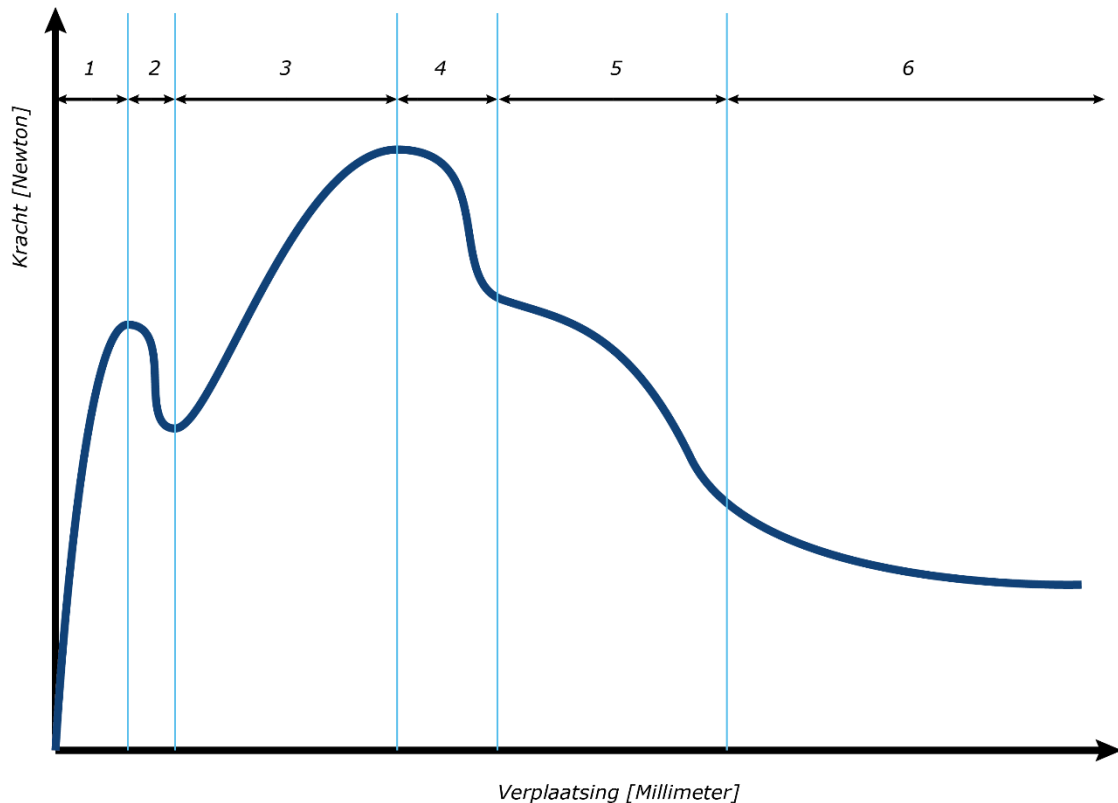
Dankzij de sensoren op de trekbank en de software die data verzamelt, kunnen de krachten gemeten en opgeslagen worden die inwerken op de kabel. In de test wordt de verplaatsing van de kabel doorheen het onderdeel opgemeten in functie van de kracht die aangelegd wordt. Onderstaande figuur toont het verloop van 5 identieke trektesten.



Figuur 71: Meetresultaten van de trektesten met kabeldiameter 0,75mm

Bovenstaande grafieken tonen vijf gelijkaardige trektesten. Trektest 1 en 2 zijn vroeger gestopt omdat een maximale kracht werd behaald vooraleer de kabel begon te slippen doorheen het onderdeel. Toch bleef het gedrag na dit punt onbekend en werden de verdere trektesten langer aangehouden. Hieruit bleek dat wanneer de kabel begint te slippen, een gelijkaardig fenomeen optrad bij trektesten 3,4 en 5.

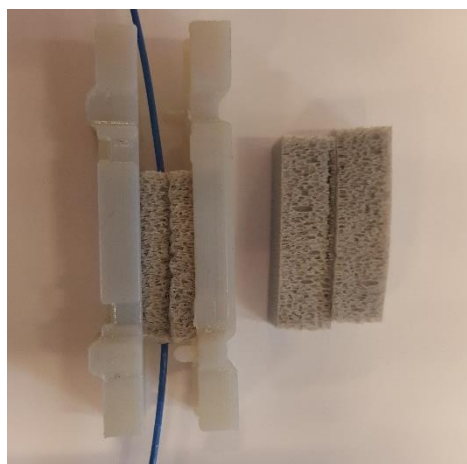
De variëteit tussen de curves is te wijten aan het feit dat manueel niet identiek dezelfde foams geknipt kunnen worden. Hierdoor variëren de vormen van de foams heel sterk. Ondanks deze variëteit kan een algemene grafiek getekend worden van het gedrag van de kabel tijdens deze trektesten. Deze grafiek wordt gebaseerd op vaststellingen en bovenstaande metingen. Deze grafiek wordt getoond in Figuur 72.



Figuur 72: Veralgemeende grafiek voor het gedrag van de kabel

In het **eerste** interval van de grafiek wordt de aangelegde kracht vergroot en blijft de verplaatsing beperkt. Ook de kracht blijft vrij beperkt. Zolang de twee klevende oppervlakken amper vervormen, blijft de volledige lengte van het oppervlak kleven aan de kabel.

Bij het **tweede** interval van de grafiek begint de foam extreem te vervormen. De foam wordt door de kabel samengetrokken in het onderdeel. Met als gevolg dat de lengte van het klevende oppervlak plots veel kleiner wordt. Ook de kracht wordt kleiner. In Figuur



Figuur 73: Gebruikte en ongebruikte foam: lengteverschil door compressie

73 liggen twee ongebruikte foams (rechts) naast twee gebruikte foams (in het onderdeel). In deze figuur is te zien dat na het gebruik de lengte korter is. In Figuur 73 is

de kabel niet meer belast. Tijdens belasting is de compressie veel groter. Dit fenomeen is te zien in onderstaande figuur waar de schroefklem van de trekbank lichtjes is opgedraaid om de foam zichtbaar te maken.



Figuur 74: Gecomprimeerde foam tijdens trektest

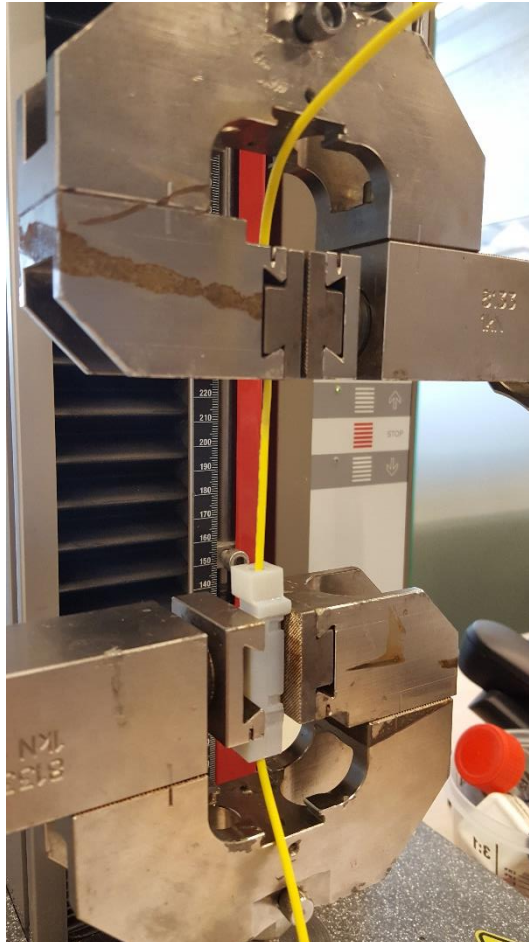
Op een bepaald moment (interval **3**) is de foam zo samengedruwd dat deze niet meer kan comprimeren. Dit leidt tot grotere normaalkrachten op de kabel omdat de foam én de lijmlaag ophopen. Door deze krachten wordt meer wrijving gegenereerd dan voordien. De kracht stijgt nu geleidelijk in functie van de verplaatsing.

In het **vierde** interval wordt de opgehoopte lijmlaag losgescheurd van de foam en verdwijnt een groot deel van de wrijving. Toch heeft de ophoping nog een bepaald volume dat voor weerstand zorgt bij de beweging door de gecomprimeerde foam.

Eens deze ophoping er volledig wordt doorgetrokken in interval **vijf**, daalt de wrijving op de kabel aanzienlijk. De kabel heeft hierna geen extra frictie meer door de lijmlaag en zal enkel wrijven met de foam die een beetje kan ontspannen. De krachten zullen bij verdere verplaatsingen min of meer constant blijven in interval **zes**.

5.2.3 Trektesten met dikkere kabel: 2,4mm

Dezelfde foam wordt gebruikt bij trektesten van een dikkere kabel. Deze testen worden gedaan om het gedrag van de foam op te meten wanneer deze minder plaats heeft in het onderdeel om gecomprimeerd te worden. Onderstaande figuur toont de opstelling van deze test.



Figuur 75: Opstelling trektest diameter 2,4mm

De kabel die in deze opstelling wordt gebruikt is een kabel met aramidevezels tussen de glasvezel en de mantel (simplex kabel). Deze vezels worden voornamelijk gebruikt om de kabel te fixeren. Echter wordt er in deze opstelling geprobeerd om te fixeren op de mantel. De opbouw van deze specifieke kabel wordt in onderstaande figuur getoond.

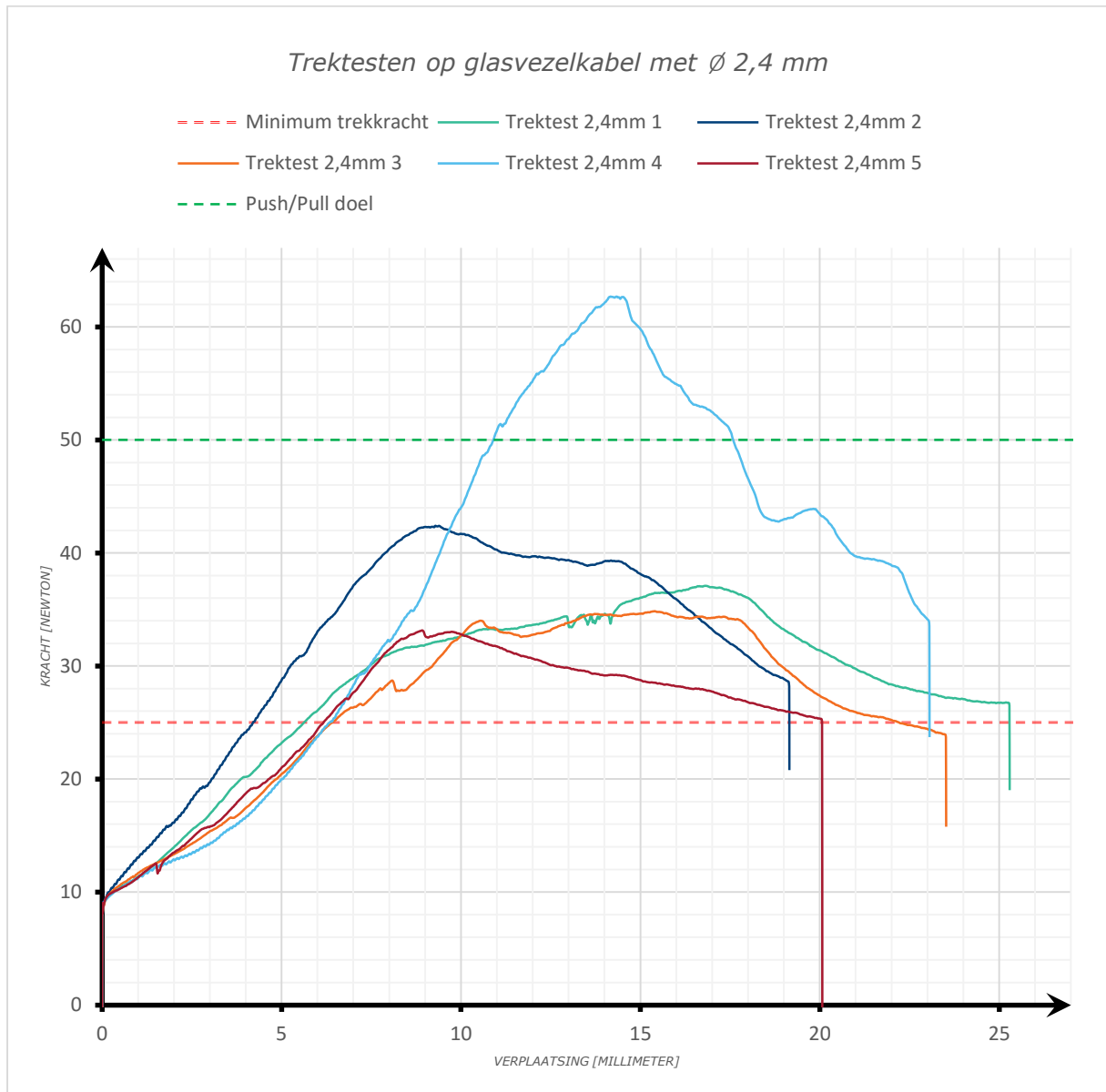


Figuur 76: Opbouw glasvezelkabel 2,4 mm zoals gebruikt in de test

Het uiteinde toont de glasvezel van 9 μm diameter en een cladding van 125 μm . Daarrond zit een witte isolatie. De lichtgele aramidevezels zijn voorzien om de kabel te verstevigen. Het geheel wordt samengehouden met een gele mantel.

5.2.4 Testresultaten trektesten kabeldiameter 2,4mm

Onderstaande figuur toont de verzamelde data van de trekproef, uitgezet in een grafiek.



Figuur 77: Trektesten op glasvezelkabels van 2,4mm

Bij het trekken van een dikkere kabel wordt vastgesteld dat er zich een ander gedrag voordoet. Het is zeer verschillend met de vorige trektesten. In deze grafieken valt op dat het begin ervan vrij rechtlijnig verloopt. Dit is te wijten aan het vervormen van de foam. Ook nu wordt deze samengedruwd door de beweging van de kabel.

Eens de foam is samengedruwd stabiliseert de curve en wordt een maximum bereikt dat boven de minimumgrens ligt. Bij dit maximum begint de kabel te slippen. Bij de vorige testen kleefde de kabel voldoende om de lijm los te trekken. Dit is hier niet het geval. Van zodra een bepaald waarde wordt bereikt, slijpt de kabel door de klevende vlakken van de foam.

5.2.5 Trektesten Blown Fiber Tube

Tot slot werd een kabel getest met een diameter van 4,3mm. Deze kabel bevat geen vezels. De vezels worden na de installatie van de Blown Fiber Tube (BFT) door de holle kabel geblazen. Dit wordt gedaan om het aantal dark fibers te verminderen [20]. Wanneer toch extra vezels nodig zijn worden deze op het moment zelf door de BFT geblazen [20]. Onderstaande figuur toont de opbouw van deze kabel.

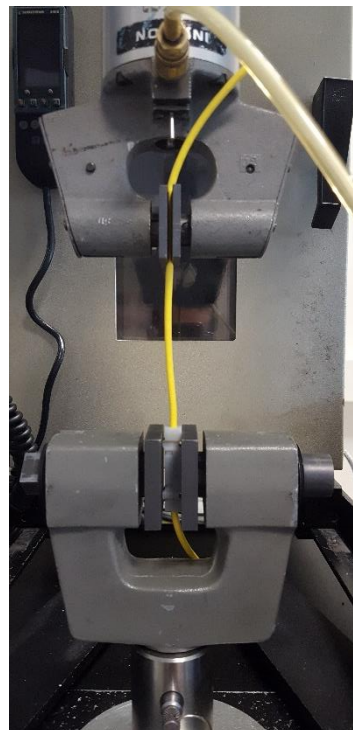


Figuur 78: Opbouw BFT

Deze kabel bestaat enkel uit een mantel (geel op bovenstaande figuur) en inner-tubes (doorzichtig buisje op bovenstaande figuur). Een BFT kan bestaan uit meerdere inner-tubes [20]. De kabel die gebruikt wordt voor de testen heeft er één.

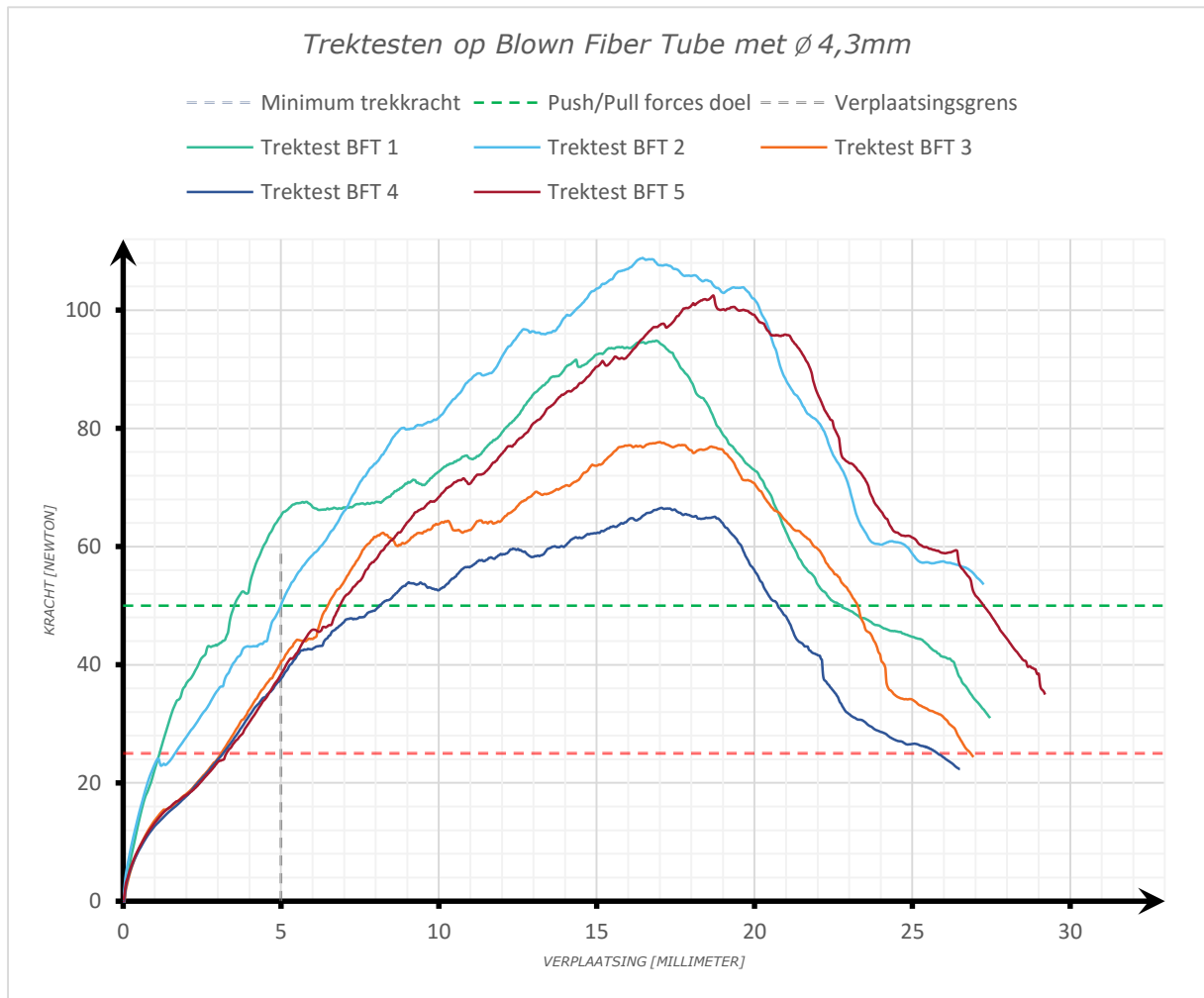
Omdat deze kabel zonder strengthmember gemaakt wordt is de mantel op zicht zeer stevig. Sommige versies van deze kabel hebben aramidevezels tussen mantel en inner-tube om de opbouw te versterken maar niet persé om op te fixeren.

De trektesten worden gedaan met de trekbank van CommScope. De opbouw van de test wordt in onderstaande figuur getoond.



Figuur 79: BFT met foam ingespannen op Trekbank van CommScope

5.2.6 Testresultaten Blown Fiber Tube

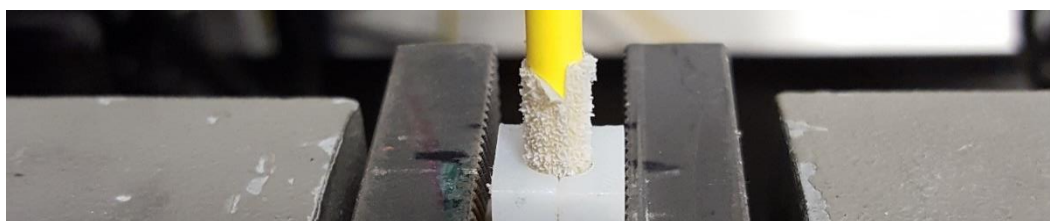


Figuur 80: Trektestresultaten BFT met foam

Zoals verwacht, is het verloop van deze testen zeer grillig en niet zo steil. Dit is opnieuw een gevolg van het comprimeren van de foam.

Bij grotere kabels, zoals de BFT, valt het op dat hogere krachten worden gehaald. Dit komt doordat de foam minder plaats heeft in de cablecase om te vervormen. Hierdoor wordt de foam heel snel op een kleiner volume getrokken. Ook de stijfheid van de kabel zorgt voor grotere radiale reactiekrachten. Deze krachten veroorzaken veel wrijving.

Van zodra de curve op een maximum komt, scheurt de lijmlaag van de foam. Hierdoor daalt de curve vrij steil na het maximum. Dit fenomeen wordt in onderstaande figuur verduidelijkt.



Figuur 81: Afscheuren van de lijmlaag.

5.2.7 *Trektesten met rechthoekige kabel (3mm breed, 1,5mm dik)*

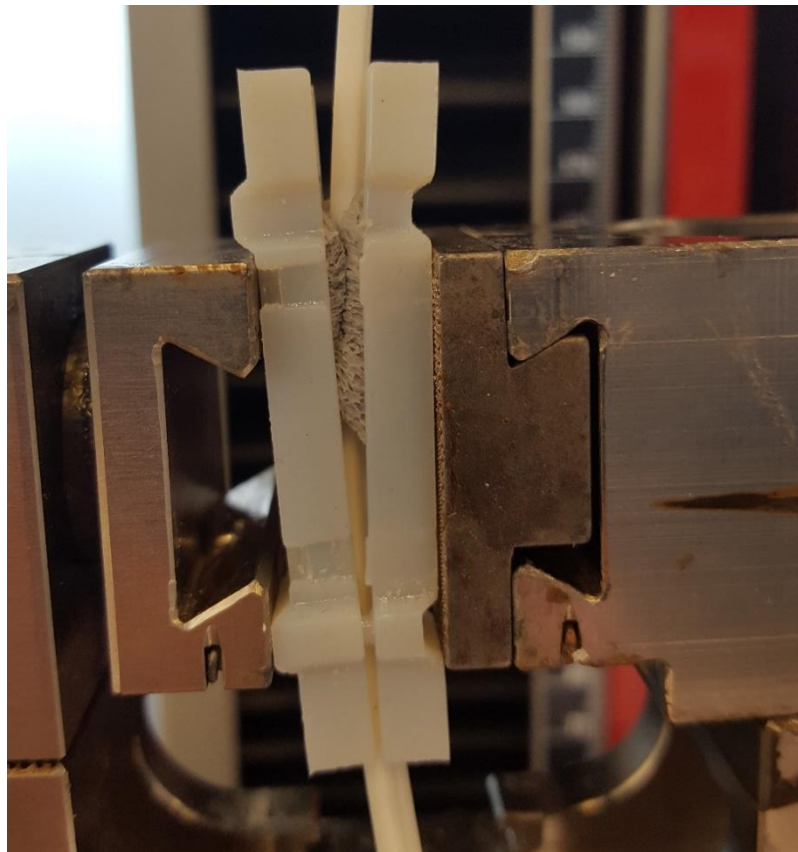
Om niet alleen ronde kabels te testen, wordt ook een rechthoekige kabel getest. Onderstaande figuur toont de opbouw van deze kabel.



Figuur 82: Opbouw van een rechthoekige glasvezelkabel

Deze kabel bevat enkele vezels (gekleurde vezels in Figuur 82) met links en rechts van de vezels een versterking. Het geheel wordt samengehouden door een uiterst stijve en dikke mantel.

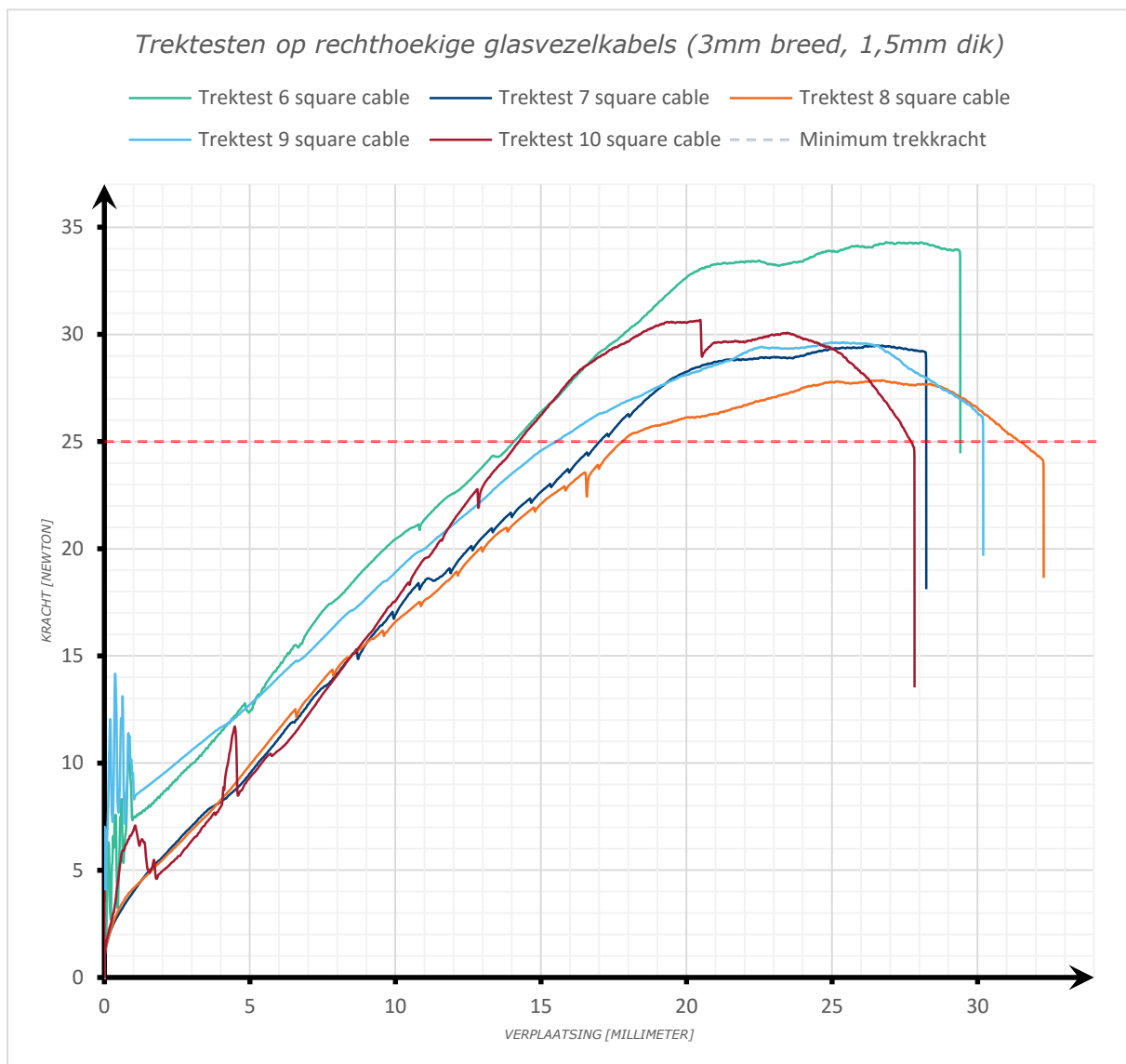
Ook hier vervormt de foam sterk bij de trektesten. Onderstaande figuur toont de mate waarin de foam gecomprimeerd en zelfs verdraaid is. Dit laatste is te wijten aan de totale stijfheid van de kabel.



Figuur 83: Compressie van de foam bij rechthoekige kabel

5.2.8 Testresultaten rechthoekige kabel

Onderstaande figuur toont het gedrag van een gefixeerde rechthoekige kabel.



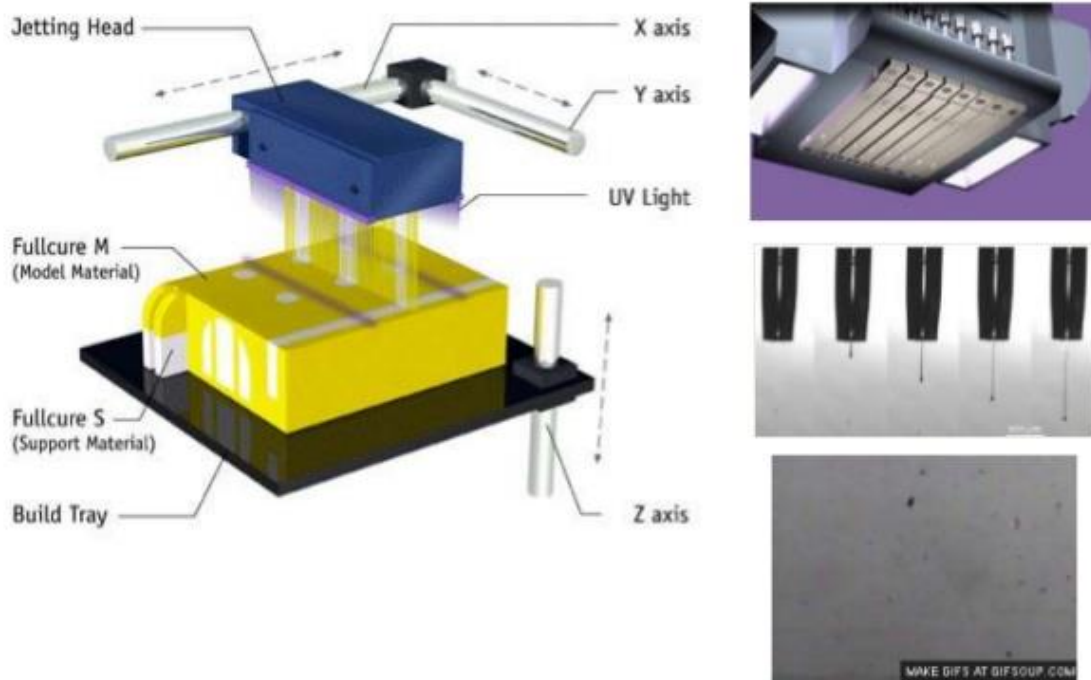
Figuur 84: Trektestresultaten van een square cable

Deze karakteristieken tonen een lineair verloop tot aan een bepaalde waarde. Opnieuw door het comprimeren van de foam. Bij een bepaalde waarde zal ook deze kabel beginnen glijden door de foam. Dit laatste verklaart het afvlakken van de curve bij een bepaalde kracht.

5.2.9 Conclusie voor trektest met foam

Tijdens de trektesten viel op dat het monteren van de twee onderdelen zeer vlot ging. Het onderdeel moest dan ook enkel geopend worden bij het vervangen van de foams. Het kliksysteem dat voorzien werd begaf het echter al snel. Dit is te wijten aan het polyjet-productieproces. Onderstaande figuur toont het principe van dit proces.

Technology – PolyJet Process



Figuur 86: Polyjet 3D-printproces [46]

In dit proces worden onderdelen opgebouwd in lagen. De 'jetting head' beweegt in x- en y-richting en print één laag per keer. De laag bestaat uit twee soorten materiaal. Enerzijds is er het materiaal om het object (Model Material) op te bouwen. Anderzijds worden ondersteuning geprint in een oplosbaar materiaal (Support Material).

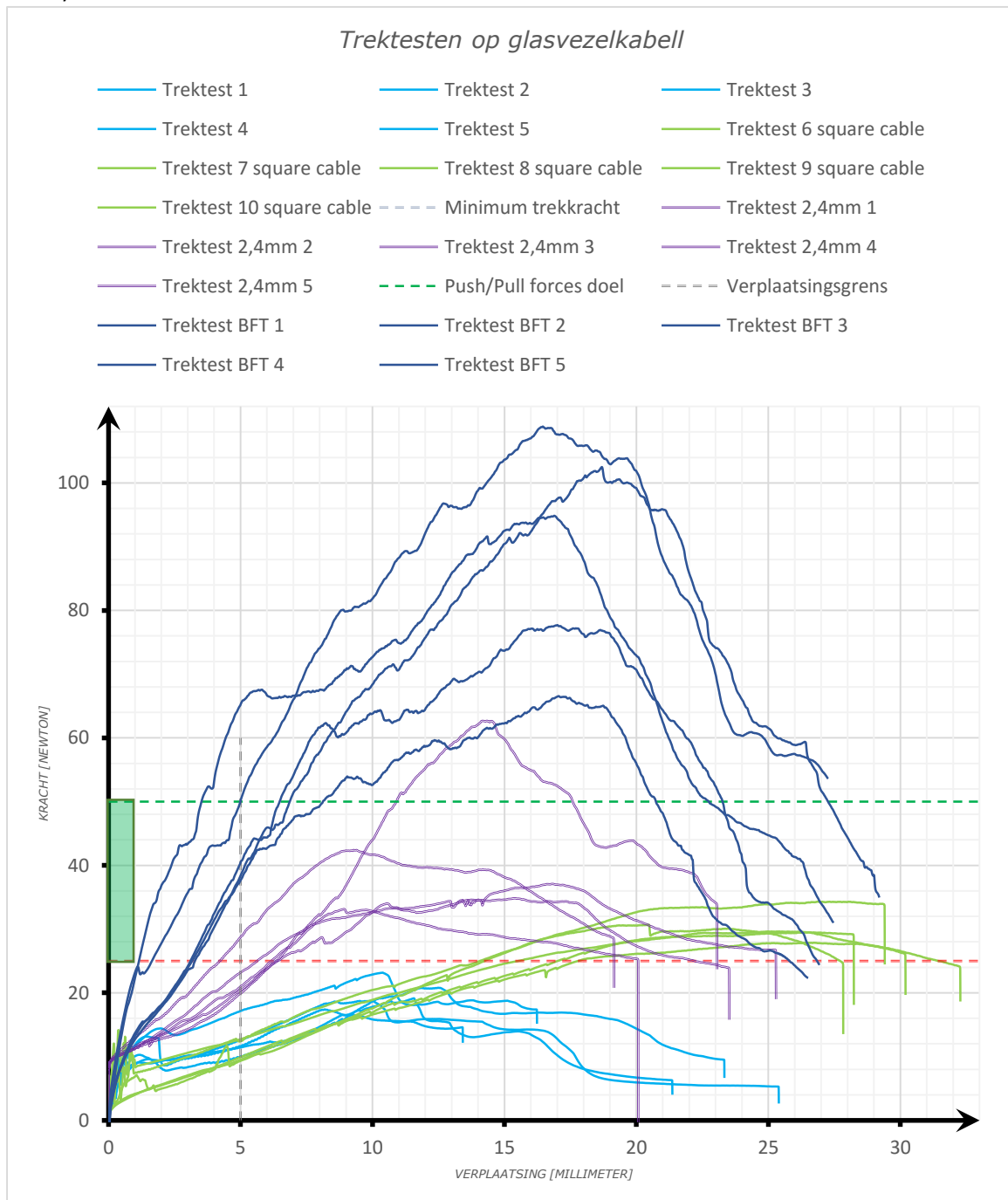
Doordat het kliksysteem in lagen wordt opgebouwd is het zwakker tegen buiging wanneer de lagen haaks op de belasting liggen. In onderstaande figuur wordt deze opbouw getoond.



Figuur 85: Prinrichting polyjet

Door deze printrichting braken de klikkers af en moest het systeem manueel of met een bankschroef dicht gehouden worden.

Naast dit technische mankement is de foam niet goed om de fixatie te voorzien. De krachten die gehaald worden komen bij kleinere kabels amper in de buurt van de doelstelling. Bij grotere diameters worden de krachten wel gehaald maar pas na een aanzienlijke verplaatsing. Beide aspecten kunnen niet getolereerd worden. Onderstaande figuur toont het gebied waarin het systeem moet presteren (groene zone).



Figuur 87: Vergelijking trektesten en gebied waarin het systeem presteert

5.2.10 *Systeemverbeteringen voor volgende test*

Om een beter resultaat te kunnen bekomen moet het vervormen van de foam aangepakt worden. Het vervormen van het materiaal in de axiale richting van de kabel moet sterk verminderen. Hierdoor zullen de grafieken steiler worden en het gebied naderen waarin het systeem moet presteren.

Tijdens de testen bij de Cel Kunststoffen werden rubbers getest door een doctoraatstudent. Het onderzoek van deze student heeft niets te maken met deze masterproef. Echter stimuleerde dit onderzoek het idee om eventueel rubber te gaan gebruiken in de cable-case om de kabel te fixeren.

Deze rubbers zijn veel stijver dan de foam die voor de eerste testen gebruikt werd. Het gaat om enkele types rubber. Er zijn ge vulkaniseerde types die harder en minder kleverig aanvoelen. Daarnaast zijn er niet ge vulkaniseerde types die zachter en kleverigere aanvoelen. Gevoelsmatig wordt een type uitgekozen dat een kleverig oppervlak heeft. Dit om de meeste wrijving te kunnen genereren om de kabels te fixeren. Het exacte type rubber is Hercorub EPDM 005K. De exacte eigenschappen van deze rubber kunnen teruggevonden worden in bijlage 8.1.

5.3 Testen van wrijvingsconcept met rubber

Nu de foam vervangen wordt door rubber, zullen de testen overgedaan worden. Hierbij worden de volgende kabels gebruikt:

- Kabel 0,75mm (zonder strengthmember)
- Kabel 2,4mm (met aramidevezels)
- Blown Fiber Tube 4,3mm

De rechthoekige kabel wordt in onderling overleg niet meer behandeld. Het systeem dat in deze masterproef ontwikkeld wordt, zal als focus het fixeren en afdichten van dropkabels hebben. De meest gebruikte dropkabels zijn de simplex kabel van verschillende diameters. De overige kabels blijven behouden om de volgende testen te doen.

De rubber blijft tijdens het testen ongevulkaniseerd. Dit om het kleverig zijn van de oppervlakken te behouden. Ook blijft de rubber soepel genoeg om in te duwen.

De testen werden gedaan op de trekbank van CommScope die in onderstaande figuur wordt getoond.



Figuur 88: Instron 5566 trekbank bij CommScope

Het opbouwen van het systeem is analoog aan de testen met de foams. Van de rubber worden stukken afgesneden die in de cable-cases passen. Het snijden van de rubbers wordt getoond in onderstaande figuur.

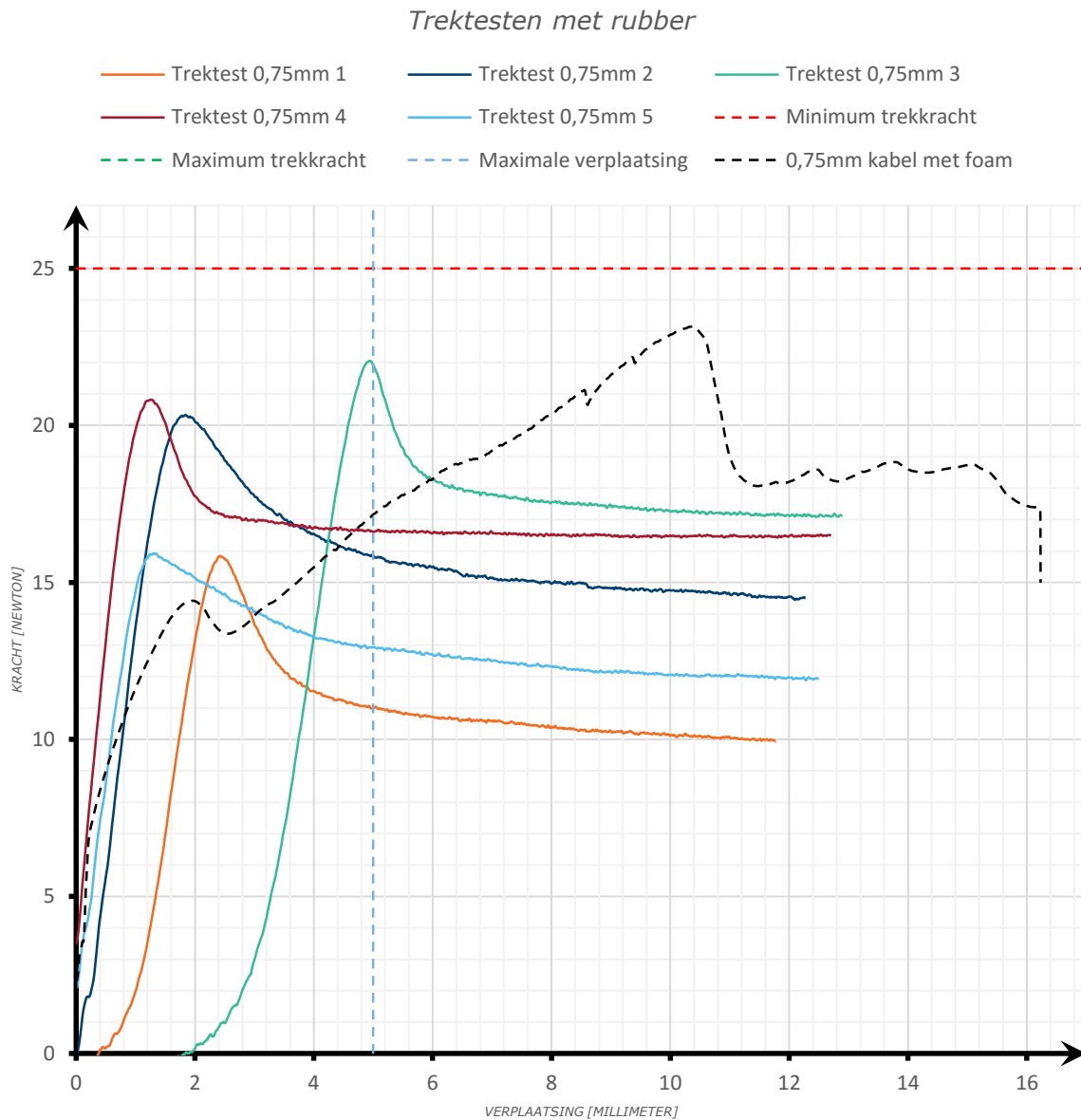


Figuur 89: Rubbers op maat gesneden

Daarna worden de onderdelen gevuld met de rubbers en op elkaar gelegd met daartussen een glasvezelkabel. Om het geheel samen te houden worden de klemmen van de trekbank gebruikt omdat het kliksysteem afgebroken is bij de vorige tests.

5.3.1 Trekttestresultaten bij montage van kabel 0,75mm

Ook de resultaten van deze trekttesten worden verzameld door het computersysteem dat verbonden staat met deze trekbank. Onderstaande figuur toont de trekcurven van de kabel met diameter 0,75mm.



Figuur 90: Vergelijking tussen trekttest met foam en trekttesten met rubber

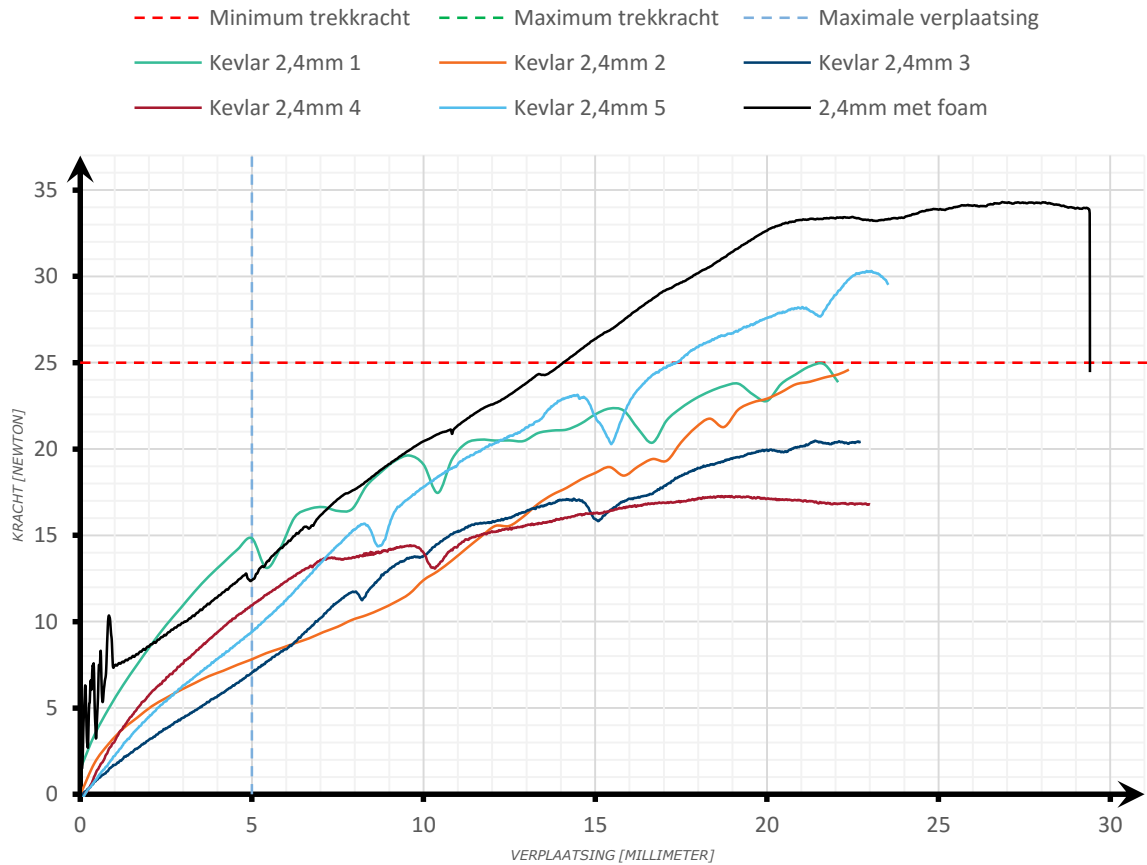
In bovenstaande grafiek worden vijf trekcurves getoond. De zwarte curve is de zesde curve en is data uit Figuur 71. De gekleurde grafieken zijn duidelijk steiler dan de zwarte stippellijn en bereiken dus sneller een maximum. Eens de kabel begint te glijden zakt de kracht naar een constante waarde.

Een volgende vaststelling is dat de curves niet altijd bij 0 beginnen. Dit is te wijten aan de positie en het gespannen staan van de kabel bij het begin van de proef of niet. In principe kunnen de curves van testen 1 en 3 naar links verschoven worden. Die pieken vinden dan plaats tussen 0 en 2 millimeter.

5.3.2 *Trektestresultaten bij montage van kabel 2,4mm*

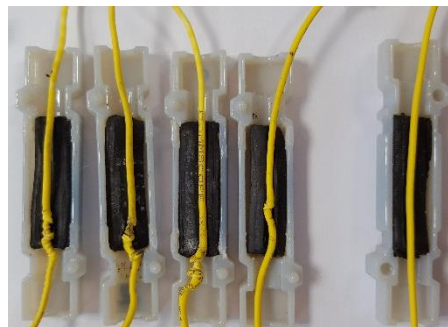
Opnieuw wordt er geprobeerd om deze kabel op de mantel te fixeren. Om te fixeren zijn nog steeds de aramidevezels voorzien. Onderstaande figuur toont de trekresultaten op deze kabel.

Trektesten met rubber



Figuur 91: Trekresultaten en vergelijking met 2,4mm kabel met foam

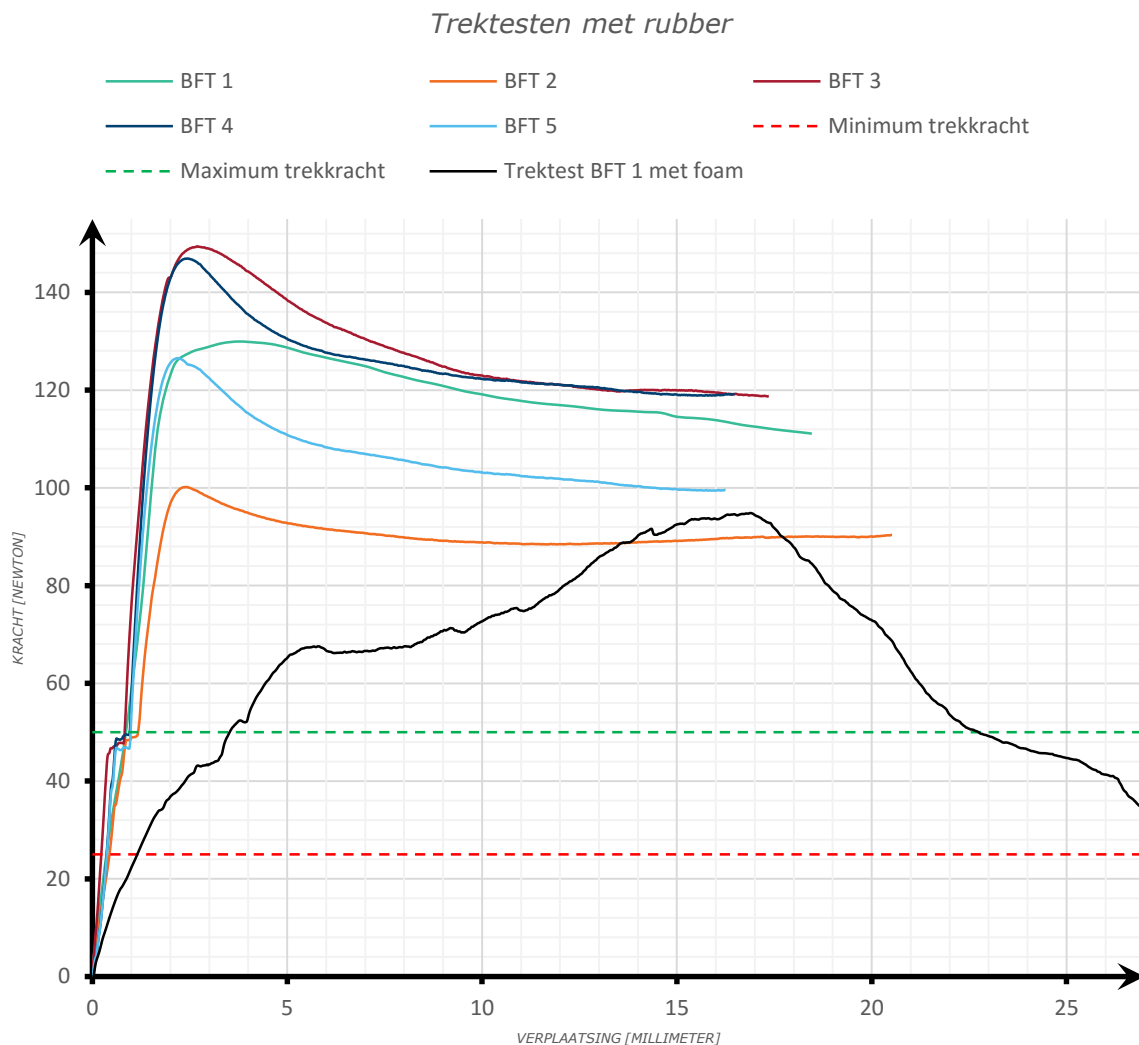
Wanneer de kabel gefixeerd wordt met foam, comprimeert de foam eerst bij belasting. Vandaar de grote axiale verplaatsing bij geringe krachten. Wanneer rubber gebruikt wordt, comprimeert deze zo goed als niet en heeft voldoende wrijving. Toch is er een grote axiale verplaatsing van de kabel. Dit is te wijten aan het plastisch vervormen van de kabelmantel. Dit verschijnsel wordt getoond in onderstaande figuur.



Figuur 92: Mantelvervorming tijdens belasting

5.3.3 Trekttestresultaten van montage van Blown Fiber Tube

Tot slot werden de Blown Fiber Tubes met diameter 4,3mm getest. Onderstaande figuur toont de testresultaten.



Figuur 93: Testresultaten en vergelijking tussen rubber en foam

Door een grotere diameter te installeren zoals een Blown Fiber Tube worden de rubbers meer samengedrukt in radiale richting. Hierdoor worden meer radiale krachten ontwikkeld en dus ook meer wrijving. Mede door de stijfheid van de kabel wordt het effect duidelijk zichtbaar in de testen. Op minder dan één millimeter verplaatsing worden de minimale trekkrachten al gehaald. Zelfs het doel van 50 Newton wordt door 4 van de 5 stalen gehaald vóór een verplaatsing van één millimeter. De plotse verplaatsing rond 50N is te wijten aan de kleine axiale verplaatsing van de rubber.

Net zoals verwacht is deze curve steiler en minder grillig dan de grafieken van de testen met foam. Dit omdat de foam veel zachter is dan de rubber en meer gecompriëerd wordt tijdens de beweging.

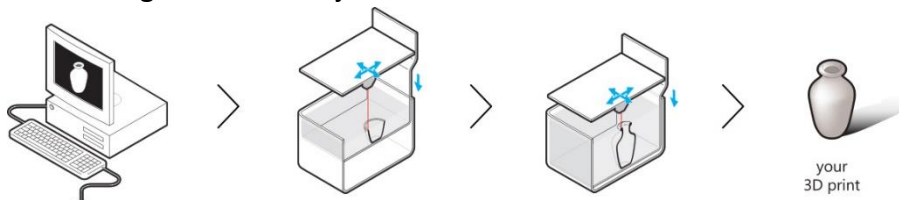
5.3.4 Testen met statisch gewicht

De meeste systemen, die bij CommScope in ontwikkeling zijn, worden onderworpen aan testen met statisch gewicht. Het systeem wordt dan als in een reële situatie aan een wand gemonteerd. De geïnstalleerde kabels worden dan belast met een bepaald gewicht. De belasting blijft zo'n 10 minuten hangen. Na deze tijd mag de kabel maximum 1 millimeter gezakt zijn.

De range van kabels wordt aangepast omdat 0,75mm niet als dropkabel wordt gebruikt. De nieuwe range gaat van 1,2mm tot 4,3mm. Hierin worden verscheidene kabels getest met de volgende maten:

- 1,2mm diameter,
- 1,5mm diameter,
- 2,4mm diameter (zoals bij de vorige testen),
- 3mm diameter,
- 4,3mm Blown Fiber Tube (BFT).

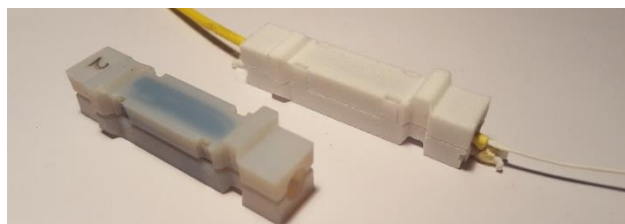
Vooraleer het concept opnieuw wordt getest, wordt het concept uitgebreid met een pen waarrond de aramidevezels gedraaid worden. Naast deze aanpassing wordt het prototype met een ander proces geprint. Het prototype wordt buitenshuis gemaakt door Materialise. Zij beschikken over een proces dat kunststof-korrels smelt met behulp van een laser. Dit proces noemt Selective Laser Sintering (SLS). Dit proces wordt in onderstaande figuur verduidelijkt.



Figuur 94: Selective Laser Sintering of SLS [47]

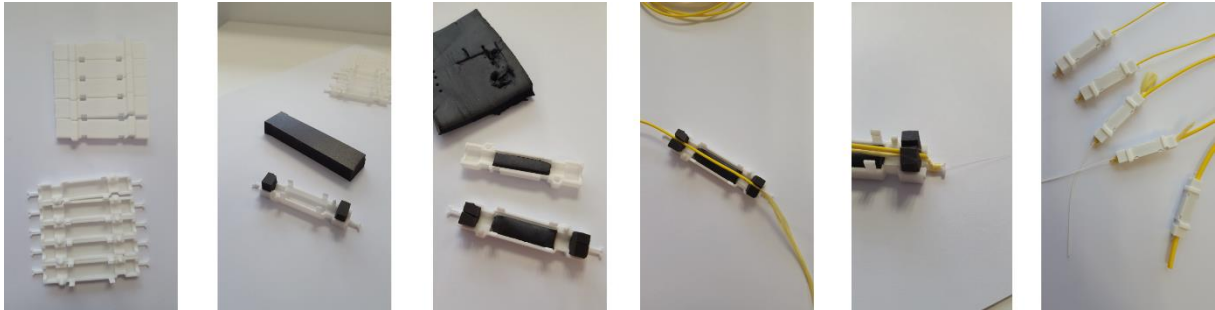
Het design wordt doorgestuurd naar een lasersintermachine waarin een bak met poeder zit. Deze bak is in het begin voorzien van één dunne laag waar de laser de eerste doorsnede van het product in smelt. Daarna zakt de bak een heel kleine stap. Er wordt opnieuw een laag poeder over gelegd die de laser opnieuw kan smelten. Op deze manier bouwt de machine een onderdeel, laag per laag, op.

Dit proces wordt gebruikt om het onderdeel met een beter kwaliteit te kunnen printen. Het kliksysteem zou door dit proces niet meer mogen afbreken. Ook zullen cable-cases beter in de behuizing passen dan de polyjet-exemplaren. Onderstaande afbeelding toont de verbeteringen tussen de oude en nieuwe versie.



Figuur 95: Verbeteringen (rechts) ten opzichte van het oude onderdeel (links)

Om deze statische testen te kunnen doen, wordt de behuizing van het concept aan een testwand gehangen. Eens deze behuizing hangt kunnen de kabels op hun plaats gemonteerd worden zoals in hoofdstuk 5.1. Onderstaande figuur toont hoe een kabel gemonteerd wordt in de cable-case.



Figuur 96: Installatie van een kabel met aramidevezels in het verbeterd concept

Eerst worden twee dichtingsfoams geknipt voor de cable-cases. Deze foam is afkomstig van een reeds bestaande behuizing. De foams hebben de functie om extra te sealen. Daarna wordt de rubber geknipt die voornamelijk zal dienen om de kabel te fixeren. Vervolgens wordt de kabel in de cable-case gelegd en wordt de aramidevezel rond het T-stuk (dat is toegevoegd aan het ontwerp) gedraaid. Tot slot worden de dekseltjes erop geklikt om het geheel af te sluiten.

Als volgt worden de kabels gemonteerd in de behuizing die op een wand is bevestigd. Onderstaande afbeelding toont de testopstelling voor de test met statische gewichten.



Figuur 97: Testopstelling met statische gewichten.

5.3.5 Testresultaten van de test met statische gewichten

Elke kabel werd gemerkt met een stift. Hierdoor kon de afstand tot de behuizingwand gemeten worden aan het begin en het einde van de test. Het gewicht dat aan de kabels werd gehangen is 5kg, wat overeenkomt met 50 Newton. Onderstaande tabel toont de resultaten van deze test.

Tabel 7: Resultaten van test met statische gewichten

Kabeldiameter	Belasting 50N	Beginafstand	Eindafstand
1,2mm	Geen beweging	 Figuur 98: Verplaatsing kabel 1,2mm na 0 min.	 Figuur 99: Verplaatsing kabel 1,2mm na 10 min.
1,5mm	Geen beweging	 Figuur 100: Verplaatsing kabel 1,5mm na 0 min.	 Figuur 101: Verplaatsing kabel 1,5mm na 10 min.
2,4mm	Geen beweging	 Figuur 102: Verplaatsing kabel 2,4mm na 0 min.	 Figuur 103: Verplaatsing kabel 2,4mm na 10 min.
3mm	Geen beweging	 Figuur 104: Verplaatsing kabel 3mm na 0 min.	 Figuur 105: Verplaatsing kabel 3mm na 10 min.
4,3mm	Geen beweging	 Figuur 106: Verplaatsing kabel 4,3mm na 0 min.	 Figuur 107: Verplaatsing kabel 4,3mm na 10 min.

5.3.6 Conclusie van rubbertesten.

Voor kleine kabels worden de curves steiler en minder grillig. Het veranderen van foam naar rubber mist bij deze opstelling zijn effect niet. Enkel de fixatiekrachten blijven te klein om de vereisten te halen. Een voorstel tot oplossing zou kunnen zijn dat de rubber voorzien wordt van een lijmlaag zoals de foam in de eerste tests. Het probleem was daar dat de foam comprimeerde en de lijmlaag losscheurde. Door de stijvere rubber is enerzijds geen compressie. Anderzijds zou een lijmlaag op deze rubber de wrijving kunnen verhogen. Wat het gedrag van deze laag is bij trektesten is niet onderzocht.

Voor kabel met aramidevezels als strengthmember is deze fixatiemethode niet geschikt. De fabrikanten van deze kabels gaan er vanuit dat het fixeren gebeurt op de aramidevezels waardoor de mantel enkel dient om het geheel samen te houden. Deze mantel hoeft dus niet stevig te zijn en te weerstaan aan de fixatiekrachten. Fixeren op deze mantel leidt dan ook tot het plastisch vervormen ervan. Om dit probleem op te lossen wordt dit type kabel toch gefixeerd op de aramidevezels. Het concept zal aangepast worden zodat dit mogelijk wordt. De rubber in de cable-case zal dan vooral dienen om af te dichten.

Bij het fixeren van Blown Fiber Tubes is dit systeem effectief. Dit door de stijfheid van de kabel. Hierdoor kan de rubber voldoende radiale krachten op de mantel ontwikkelen om voldoende wrijvingskracht te genereren waardoor fixatie kan voorzien worden.

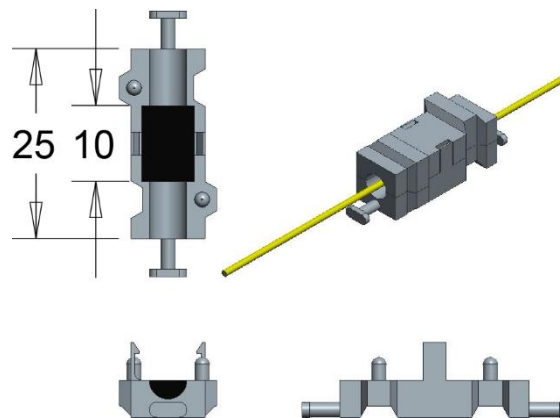
5.4 Tweede iteratie

Tijdens de tweede iteratie wordt het concept verbeterd en opnieuw getest. Het verschil met de eerste iteratie is dat de trektesten niet meer met de trekbank worden gedaan maar met gewichten die een tiental minuten blijven hangen. Naast deze trektesten (ook wel Axial-Pull-testen genaamd) worden ook testen gedaan op waterdichtheid en stofdichtheid. Deze laatste testen zijn genormeerd volgens IEC 60529.

Vooraleer dit concept opnieuw kan getest worden, wordt het concept verbeterd. Door input van onder andere de promotoren die deze masterproef hebben begeleid, werden verschillende aspecten van het prototype verbeterd.

5.4.1 Verbeteringen aan het design.

Het eerste aspect dat verbeterd moest worden, was de grootte van de cable-case (het onderdeel dat rond de kabel wordt geklikt). Onmiddellijk werd beslist om de lengte te halveren. Dit op basis van de goede trektesten bij BFT. Het verbeterde design wordt getoond in onderstaande figuur.



Figuur 108: Tweede versie van het design

De lengte van de cable-case is gehalveerd. Hierdoor wordt de rubber ingekort tot 10mm wat iets meer is dan de helft van de vorige versie.

De pennen waarrond de aramidevezels worden gedraaid bleken niet sterk genoeg te zijn. In onderstaande figuur wordt getoond dat deze plooiën bij een belasting van 50 Newton. De diameter van deze pennen werd vergroot waardoor de pennen sterker zullen zijn.



Figuur 109: Plooiende pennen bij 50N

Ook het kliksysteem is gewijzigd en telt nu twee klikkers in plaats van vier. Dit heeft als gevolg dat de cases eenvoudiger geopend kunnen worden als dit nodig zou zijn. De breedte van de klikker is vergroot om toch voldoende stevig te zijn.

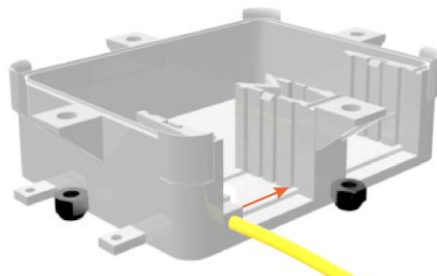
De ruimtes voor de afdichtingfoams zijn weggehaald. De afdichtingen bleken geen nut meer te hebben als er grotere diameters geïnstalleerd werden. Onderstaande figuur verduidelijkt deze vaststelling.



Figuur 110: Slechte afdichting

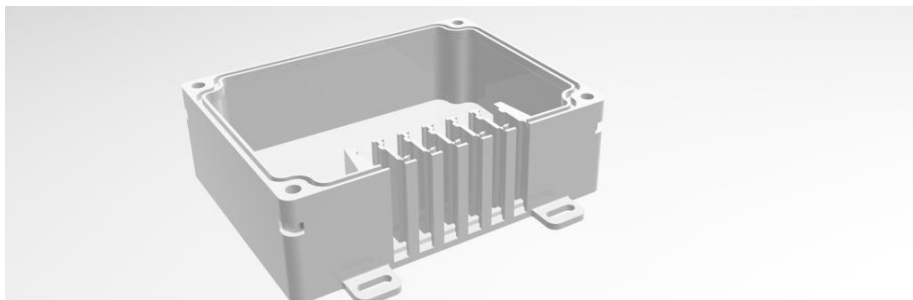
De foams worden zodanig vervormd dat deze amper nog aansloten met de cable-case. Met als gevolg dat de afdichting niet voldoende zal zijn. In dit nieuwe design wordt beroep gedaan op de rubber om de kabel af te dichten.

Een volgend probleem is de montage van de cable-cases in de behuizing. Zoals in onderstaande figuur te zien is, kunnen de cable-cases naar links en rechts schuiven als deze in de behuizing geplaatst worden. Met als gevolg dat de eerste cable-cases die geïnstalleerd worden, uit de behuizing kunnen vallen.



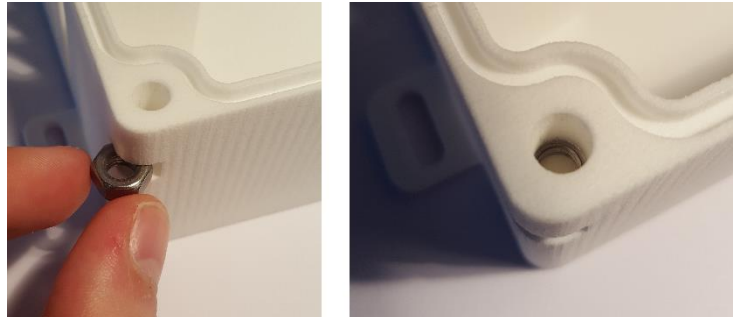
Figuur 111: Montageprobleem in de box

Dit probleem werd opgelost door de kolommen te scheiden met een wand. Dit leidt tot een slechtere kabeldichtheid in de wand. Onderstaande figuur toont de verbetering.



Figuur 112: Verbeterd box-design

Naast de indeling in kolommen werd de behuizing onderworpen aan enkele ingrijpende veranderingen. Zo zijn de moeren verwerkt in de behuizing zelf. Door de vorm van de opening waarin de moer past, is er geen sleutel nodig om deze vast te houden bij de montage van het deksel. Onderstaande figuur toont hoe de moer in de uitsparing geplaatst wordt.



Figuur 113: Plaatsen van schroeven

Ook de sealing van de behuizing werd drastisch gewijzigd. Het pad van de afdichtingsgroef werd dieper gemaakt zodat het dichtingsmateriaal dieper in de behuizing kan gedruwd worden. Onderstaande afbeelding toont de groef en het plaatsen van de afdichting.



Figuur 114: Afdichtingsgroef met afdichtingsmateriaal

De cover van de behuizing krijgt een kleine opstaande wand die hetzelfde pad heeft als de groef. Daardoor kan de behuizing voor de IPx5- en IP5x testen volledig worden afgesloten. Dit geeft een zekerheid dat als er water of stof in de behuizing terecht komt, dit niet via het deksel binnenkomt.

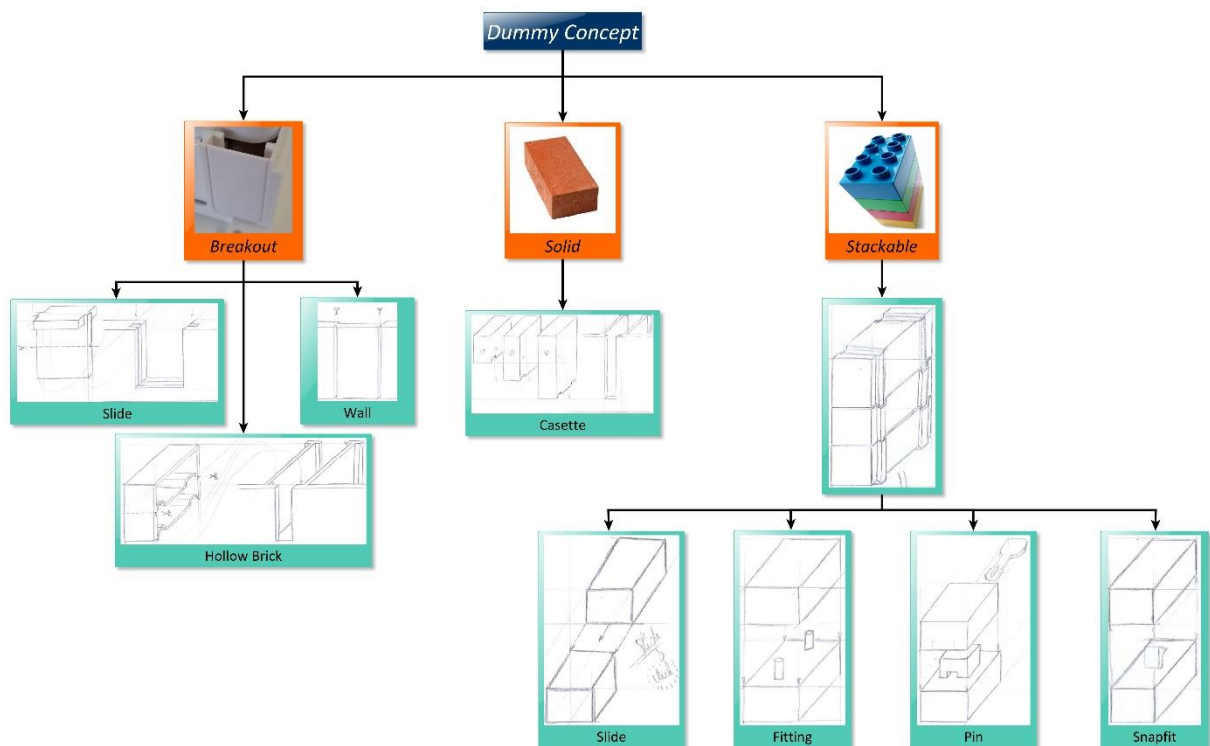
Een laatste aspect dat herbekeken moet worden is het opvullen van de ongebruikte ruimtes in de wand van de behuizing. In het eerste prototype werden grote dummy-blokken gebruikt om deze ruimtes op te vullen. Ook nu de behuizing in kolommen is verdeeld, moeten deze ruimten opgevuld worden.

Er zijn verschillende mogelijkheden om deze ruimten op te vullen. In huidige systemen wordt vaak gebruik gemaakt van uitbreekpoorten. Deze poorten worden in het ontwerp geïmplementeerd en mee geproduceerd tijdens het spuitgietproces. Door de inkepingen in de wand kan de poort uitgebroken worden. In Figuur 115 wordt dit principe voorgesteld.



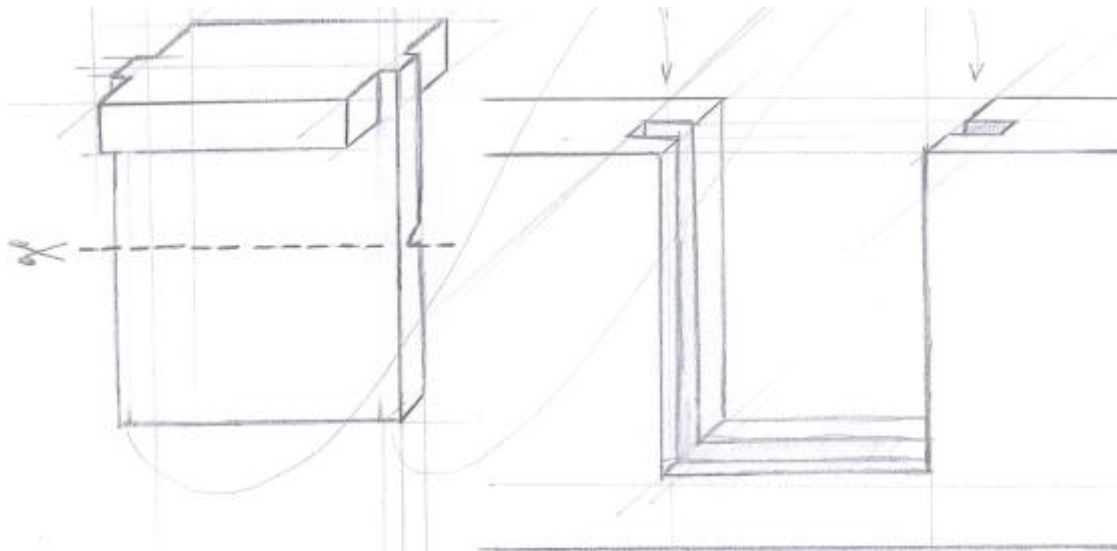
Figuur 115: Uitbreekpoort in bestaand product.

Om een keuze te maken in het opvullen van de behuizingwand wordt een korte conceptgeneratie toegepast. Ideeën om de wand op te vullen worden in een overzicht verzameld. Hieruit wordt een keuze gemaakt aan de hand van enkele factoren. Onderstaande figuur toont dit overzicht.



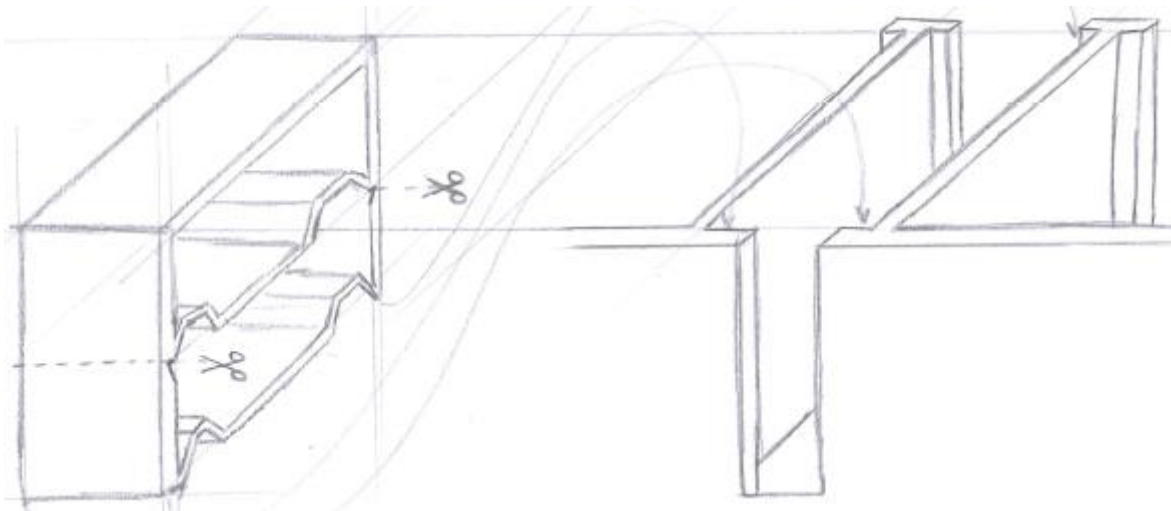
Figuur 116: Conceptgeneratie voor het opvullen van de wand.

De eerste optie die bekeken werd, was het toepassen van breekpoorten. Deze kan geïntegreerd worden in de behuizingwand, zoals reeds besproken. Een tweede variant hierop is een schuif ('Slide' in voorgaande afbeelding). De behuizing zou dan geleverd worden waarin alle openingen afgedicht zijn met zo'n schuif. Wanneer de eerste kabel geïnstalleerd wordt, zal de schuif weggenomen en een stuk ingekort worden. Figuur 118 toont hiervan een schets.



Figuur 118: Variant schuif als uitbreekpoort

Daarnaast is er nog een derde variant dat gebruik maakt van een holle balk. Doordat deze balk hol is, kan de voor- én achterkant gebroken of doorgeknipt worden. Onderstaande schets verduidelijkt dit principe.

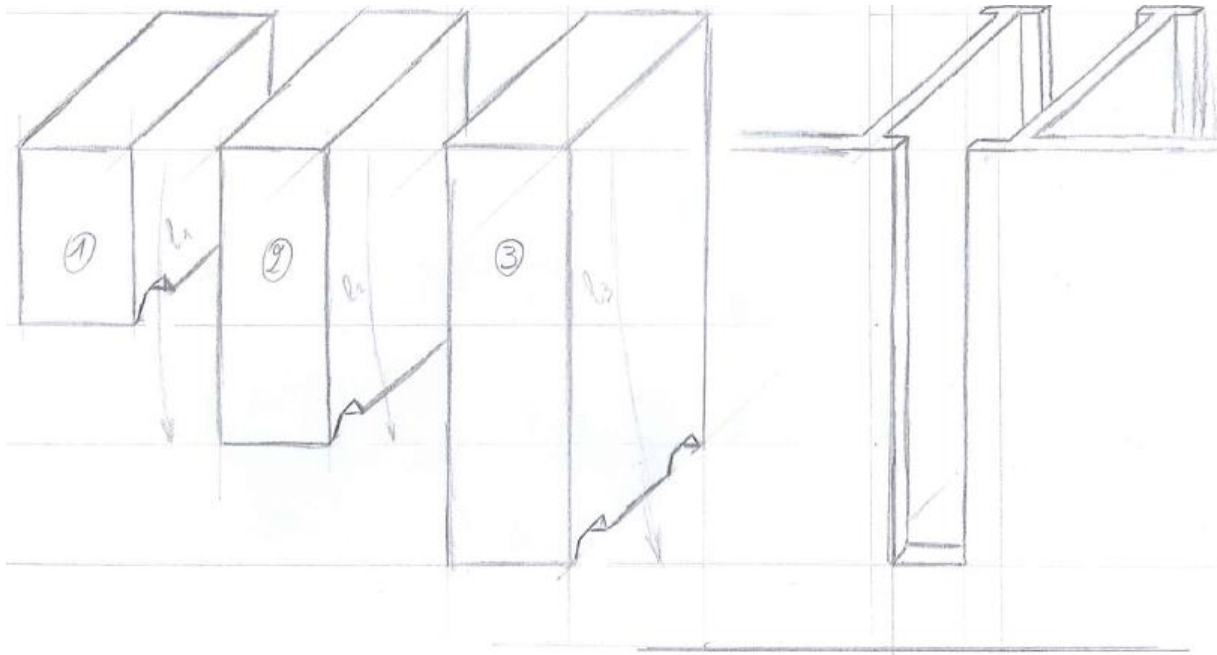


Figuur 117: Variant met holle balken

Van deze bovenstaande opties wordt er geen gekozen. De redenen waarom werd besproken met interne personen. De redenen zijn:

- 🔵 Uitbreekpoorten zijn maximaal IP30,
- 🔵 Uitbreken leidt tot afvalgeneratie,
- 🔵 Extra tool nodig in de field,
- 🔵 Varianten op het originele idee zijn duur om te maken,
- 🔵 Sealing is niet gegarandeerd na uitbreken.

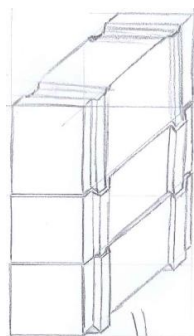
Een volgend idee is een cassette die de opening opvult. Onderstaande figuur verduidelijkt dit idee.



Figuur 119: Solid dummy idee

Voor elke hoogte die opgevuld moet worden, moet een dummy voor handen zijn. Dit idee verhoogt het aantal verschillende onderdelen enorm. Dat is ook de meest voorname reden om dit niet te gebruiken. De behuizing wordt echter geleverd met de langst mogelijke cassettes om de volledige opening te vullen. Daardoor wordt het voor de installateurs niet eenvoudig om telkens een dummy te vinden die past in de opening die er nog is na het installeren van de kabel(s).

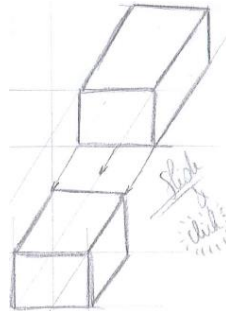
Het laatste idee is gebaseerd op het idee met de cassette. In plaats van cassettes te gebruiken met vaste lengtes, zou de cassette opgebouwd kunnen worden uit verschillende bouwblokken die identiek zijn aan elkaar. Deze optie is de betere omdat het aantal onderdelen beperkt blijft en toch de hele opening opgevuld kan worden. Dit idee wordt gebruikt om het concept verder te verbeteren. Onderstaande figuur verduidelijkt het stapelen van dummyblokken.



Figuur 120: Stapelen van dummy's

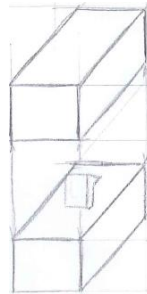
Het stapelen van blokken heeft al snel een nadeel. De blokken moeten één voor één verwijderd worden wat tijdrovend kan zijn. Door de blokken op elkaar te monteren kunnen deze uit de opening gehaald worden als één geheel. Het aantal blokken die verwijderd moeten worden is dan afhankelijk van het aantal kabels die geïnstalleerd worden.

De volgende stap in het verbeteren van het concept bestaat eruit om een systeem te selecteren dat de blokken onderling samenhoudt. Hiervoor worden vier mogelijkheden verzameld en een keuze gemaakt. De eerste is een schuif-en-klik-systeem. Onderstaande schets toont dit principe.



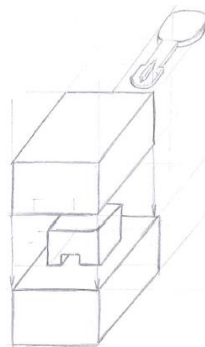
Figuur 121: Schuif-en-klik mogelijkheid

Een tweede mogelijkheid is het op elkaar klikken van de blokken. Gebruikmakend van snap-fit verbindingen kunnen de blokken dan vast en los geklikt worden. Daardoor kunnen de dummy's terug aan elkaar geklikt worden als dat nodig zou zijn. Onderstaande schets verduidelijkt deze mogelijkheid.



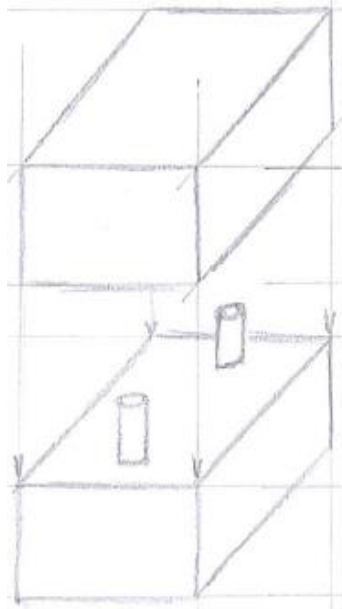
Figuur 122: Snap-on mogelijkheid

Bij de voorlaatste mogelijkheid wordt een extra onderdeel gebruikt om twee dummy's te verbinden. Het extra onderdeel wordt in één van de twee onderdelen geschoven om ze samen te houden. Onderstaande schets verduidelijkt deze mogelijkheid.



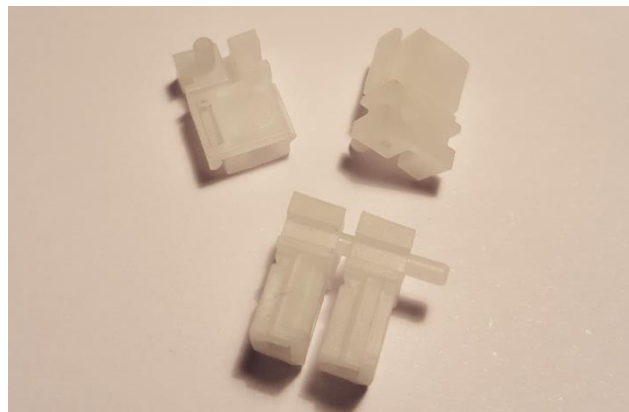
Figuur 123: Mogelijkheid met extra onderdeel

De laatste mogelijkheid is het meest eenvoudige principe. Het maakt gebruik van een perspassing. Een pen krijgt dezelfde diameter als het gat waarin de pen past. De pen wordt in het gat geduwd en er ontstaan spanningen in het materiaal. De wrijving tussen pen en gat wordt zodanig groot dat de onderdelen in elkaar gemonteerd zijn. Een menselijke handeling kan deze van elkaar afhaken wanneer dit nodig is. Onderstaande figuur verduidelijkt deze mogelijkheid.



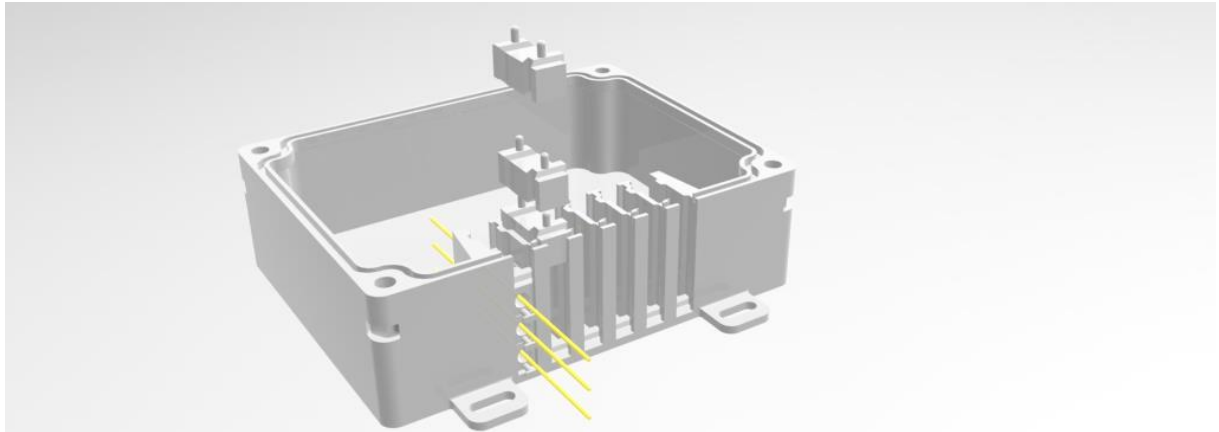
Figuur 124: Montage met perspassing

Dit laatste principe krijgt de voorkeur omdat dit het meest eenvoudige is om de dummy-onderdelen samen te houden. Ook wordt dit al toegepast in andere producten van CommScope zoals in onderstaand figuur wordt aangegeven.



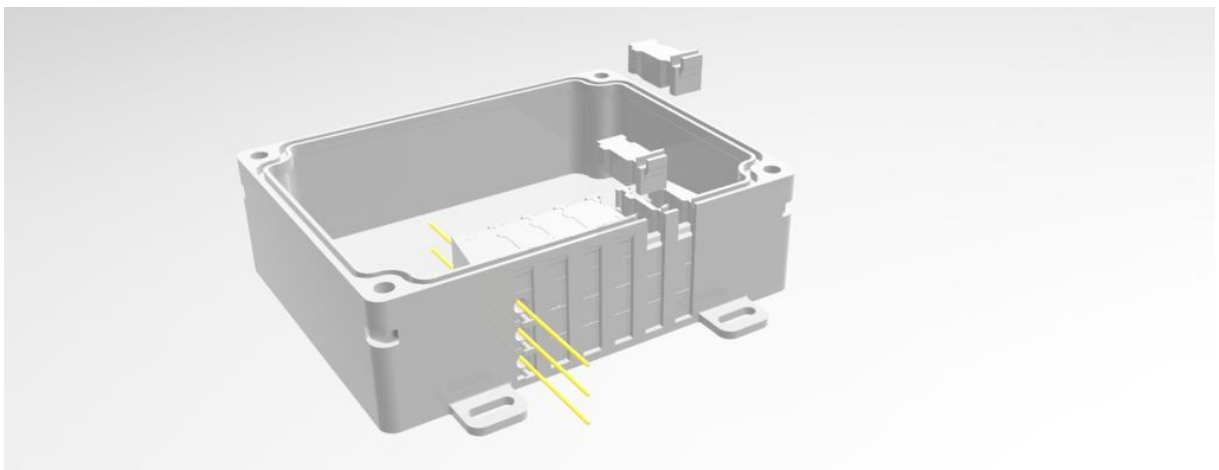
Figuur 125: 'Pressure-pin'-verbinding

Met dit principe worden dummy's getekend die in de kolommen van de behuizing passen. Onderstaande figuur toont hoe deze in de behuizing geplaatst worden.



Figuur 126: Gebruik van dummy's bij het opvullen van ongebruikte plaatsen.

De dummy's op zich vullen dan wel de plaatsen op waar geen kabel geplaatst is maar ze sluiten niet aan bij de deksel. Een eindstuk wordt hiervoor ontworpen dat als laatste gestapeld wordt op de dummy's of op de kabels. Onderstaande figuur verduidelijkt het gebruik van de eindstukken.



Figuur 127: Laatste stuk opvullen met eindstukken

Na deze eindstukken kan de afdichting en vervolgens het deksel geplaatst worden.

5.4.2 Statische trektesten op de tweede versie van het concept

Voor de komende tests worden dezelfde types kabels gebruikt dan bij de eerste statische trektesten. Alleen wordt de 1,5mm kabel twee keer gebruikt omdat er 6 kolommen voorzien zijn in de behuizing. Elke kolom wordt voorzien van minstens één kabel.

Om de tests te kunnen beginnen moet het concept opgebouwd worden. Eerst worden de cable-cases rond de kabel gebouwd. Onderstaande figuur toont de wijze waarop dit gebeurt.



Figuur 128: Installatie van een kabel in de tweede iteratie.

Opnieuw worden rubbers geknipt om in de cable-case te leggen. Daarna wordt de kabel op de rubber gelegd en de aramidevezels rond het T-stuk geknoopt. Om de trektesten te doen, hoeft de cover nog niet gemonteerd te worden.




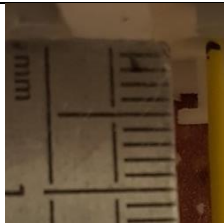


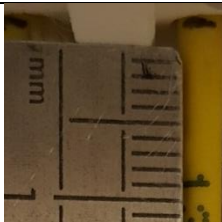
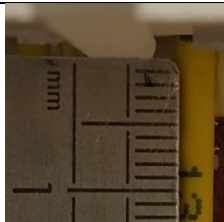
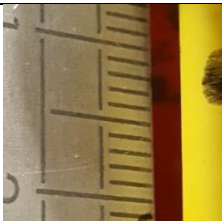
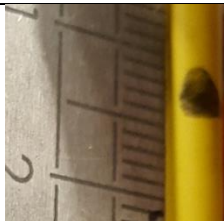
De test kan van start gaan na het monteren op de wand. De testopstelling wordt in onderstaande figuur getoond. Er wordt gestart met het hangen van 2,5 kg.



Figuur 129: Testopstelling voor de trektesten van de tweede iteratie

De testresultaten worden in onderstaande tabel getoond.

Tabel 8: Testresultaten tweede iteratie

Kabeldiameter	Belasting 25N	Beginafstand	Eindafstand
1,2mm	Geen beweging	 Figuur 130: Verplaatsing kabel 1,2mm na 0 min.	 Figuur 131: Verplaatsing kabel 1,2mm na 10 min.
1,5mm	Geen beweging	 Figuur 132: Verplaatsing kabel 1,5mm na 0 min.	 Figuur 133: Verplaatsing kabel 1,5mm na 10 min.
2,4mm	Geen beweging	 Figuur 134: Verplaatsing kabel 2,4mm na 0 min.	 Figuur 135: Verplaatsing kabel 2,4mm na 10 min.
3mm	Geen beweging	 Figuur 136: Verplaatsing kabel 3mm na 0 min.	 Figuur 137: Verplaatsing kabel 3mm na 10 min.
4,3mm	<1mm na 10 minuten	 Figuur 138: Verplaatsing kabel 4,3mm na 0 min.	 Figuur 139: Verplaatsing kabel 4,3mm na 10 min.

De resultaten in Tabel 8 zijn aanvaardbaar tot goed. Binnen het bedrijf wordt een tolerantie toegepast op deze test. Een beweging van ongeveer een millimeter kan nog getolereerd worden. Hierdoor is de Blown Fiber Tube net geslaagd voor deze test.

5.4.3 IPx5-testen op de tweede versie van het concept.

De volgende test voor dit concept is de test op waterdichtheid. De rode draad door deze test is de hoeveelheid water die onder welke omstandigheden al dan niet in de behuizing indringt. Ondanks dat in deze behuizing glasvezelkabels worden ondergebracht, wordt de IEC 60529-norm gehanteerd. Deze norm klasseert (elektrische) enclosures op basis van twee condities:

- 🌀 Het indringen van vaste objecten of het kunnen aanraken van gevaarlijke onderdelen door mensen.
- 🌀 Het indringen van water.

[21]

De criteria om te voldoen aan een IP-graad wordt beschreven in bijlage 8.2. De verdere werkwijze om deze test te doen werd beschreven door Maarten Aerts en kan teruggevonden worden in bijlage. Onderstaande figuur vat het doorlopen van de procedure samen.



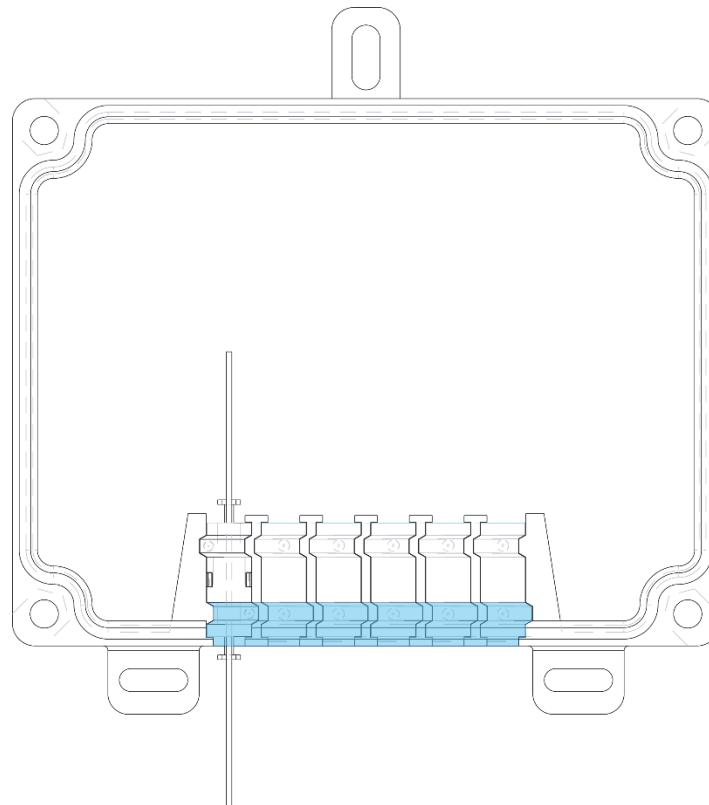
Figuur 140: Samenvatting van de IPx5-procedure

De procedure wordt hierboven samengevat in vijf cruciale stappen. Deze stappen zijn:

- 🌀 Het product ophangen zoals het gebruikt zou worden;
- 🌀 De jet op 2,5 tot 3 meter van het product plaatsen;
- 🌀 De flow van het water werd ingesteld op 12,78 liter/min;
- 🌀 De jet richten op de roterende wand;
- 🌀 Het product drogen vooraleer het te openen.

Volgens de procedure wordt de test 3 minuten uitgevoerd. Omdat het product ronddraait, wordt maar de helft van de tijd op het product gespoten. Logischerwijs wordt de test 6 minuten aangehouden.

Na het demonteren van het product en het openen ervan, werd geen water vastgesteld in de behuizing. Tussen de dummy's en de cable-cases is wel water gedrongen. De mate waarin is in onderstaande Figuur 141 geïllustreerd.



Figuur 141: Wetzone na de IPx5-test

Na de test bleek enkel de eerste groef van het afdichtingslabrynt nat te zijn. Deze vervult dus zijn functie en houdt het water uit de behuizing.

5.4.4 IP5x-testen op de tweede versie van het concept.

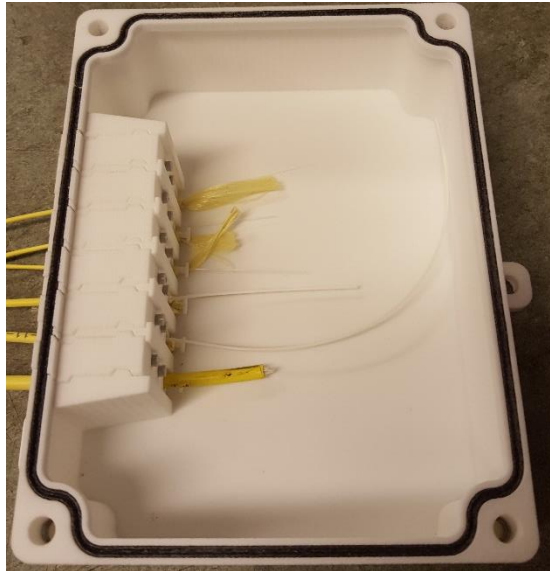
Na het drogen van het concept kan overgegaan worden naar de IP5x- test. Deze wordt uitgevoerd in een machine die conform is met de IEC 60529-norm. Door de machine in te stellen zoals in onderstaande figuur wordt getoond, wordt het product getest voor een IP5x-klassering.



Figuur 142: Procedure van IP5x-test

Tijdens de test wordt het product in de machine bestrooid met talkpoeder. Over een tijdsperiode van 6 uur werd dit herhaald. Dit terwijl de machine de kamer waarin het product hangt verwarmt. Ook wordt het product van tijd tot tijd gevibreerd om het talkpoeder te laten indringen.

Na deze test bleek er geen poeder in het concept te zijn ingedrongen. Onderstaande foto verduidelijkt dit resultaat.



Figuur 143: Resultaten IP5x-test

5.4.5 Conclusie na de tweede iteratie

De trektesten tonen aan dat de kabels met aramidevezels naar behoren gefixeerd worden. Het fixeren van een Blown Fiber Tube kan net met dit systeem. De rubber moet verlengd worden om dit te verbeteren. Of de rubber moet behandeld worden zodat deze een lijmlaag heeft om meer frictie te genereren.

De IPx5-testen tonen een zeer goede resultaten. Het product werd continu besproeid langs alle kanten en het systeem zorgt ervoor dat er geen water de behuizing kan indringen. Dit resultaat bevestigt dat de vorm van het labyrint niet aangepast hoeft te worden.

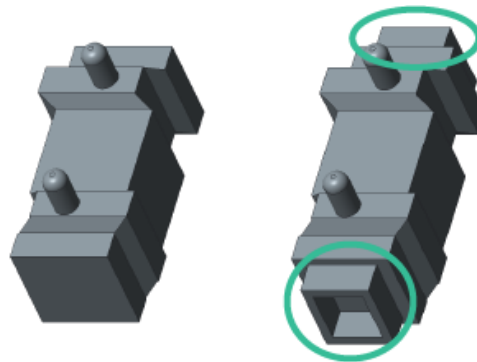
De poedertesten tonen aan dat het systeem geen poeder doorlaat. Deze test kan in de volgende iteratie uitgebreid worden naar een IP6x-test. Dan wordt een aansluiting op het deksel bevestigd zodat een vacuümpomp, de behuizing kan vacuümtrekken. Van zodra er geen poeder indringt, kan het systeem geklasseerd worden in de IP6x-klasse.

5.5 Derde iteratie

In deze masterproef wordt het onderzoek afgerond met een derde iteratie aan verbeteringen en testen. De testen in deze iteratie zijn dezelfde als de vorige iteratie. Alleen wordt er geprobeerd om een strengere specificatie te halen. Maar vooraleer de testen kunnen beginnen moet het concept worden verbeterd. Deze verbeteringen vloeien voort uit een design review meeting die intern georganiseerd werd.

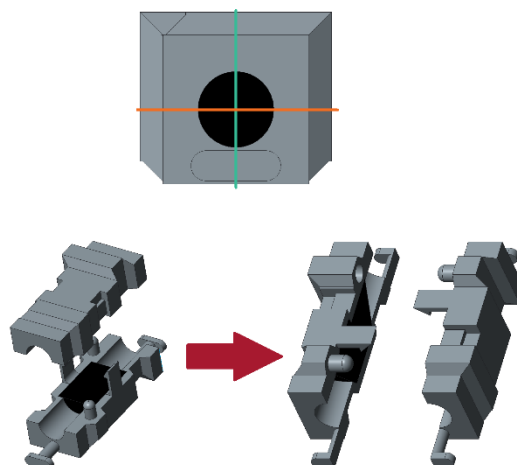
5.5.1 Verbeteringen in derde iteratie

Tijdens het gebruik van het systeem werd als snel vastgesteld dat de dummy moeilijk uit de kolommen te halen zijn. Door deze simpelweg te verlengen kan dit probleem eenvoudig verholpen worden. Door de binnenkant van de verlenging hol te maken kan de gebruiker meer grip krijgen op het onderdeel. Onderstaande figuur toont deze verbetering.



Figuur 144: Verbetering van dummy

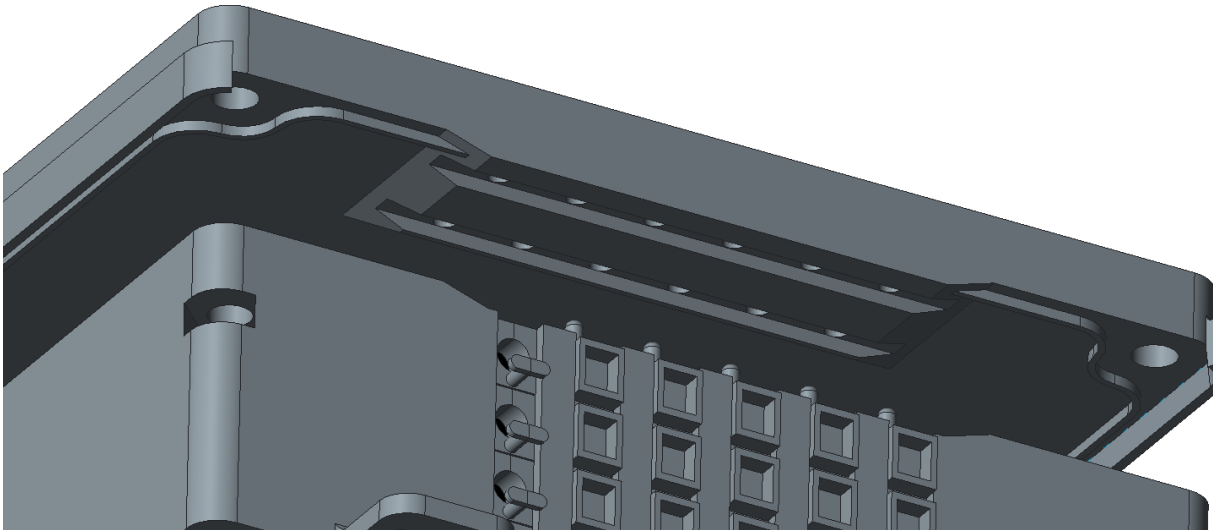
Een tweede verbetering die doorgevoerd wordt is het aanpassen van het scheidingsvlak van de cable-cases. Door dit vlak 90° te draaien kan een onderdeel ontworpen worden dat met een filmscharnier dichtgevouwen kan worden. Dit maakt de installatie veel gemakkelijker en halveert het aantal onderdelen die nodig zijn voor de installatie van een cable-case. Het design, rechts in Figuur 145, toont het nieuwe design. Rechts in deze



Figuur 145: Draaien van het deelvlak

afbeelding worden de onderdelen nog apart getoond maar het wordt de bedoeling dat deze onderdelen onderaan verbonden zijn door een filmscharnier.

Tot slot werd opgemerkt dat de eindstukken (die moeten sealen met de cover) niet nodig zijn. Door de onderkant van de einddummy's te integreren in de cover wordt het onderdeel weggewerkt. Dit heeft echter wel tot gevolg dat ook de behuizing een re-design moet ondergaan. Deze verbetering wordt in onderstaande figuur geïllustreerd.



Figuur 146: Sealing geïntegreerd in de cover.

Met deze verbeteringen werden nieuwe 3D-prints besteld en konden alle testen opnieuw gedaan worden.

5.5.2 *Statische trektesten*

Op dit concept werden de statische trektesten een laatste keer uitgevoerd. Deze test week niet af van de vorige statische trektesten. Alleen werd deze test iteratief gedaan door het gewicht trapsgewijs te laten toenemen met stappen van 0,5 kilogram.

Er wordt verwacht dat het concept de kabels met aramidevezels goed zal fixeren. Voor de kabels zonder deze aramidevezels wordt verwacht dat de fixatie door de rubber op z'n minst 25 Newton kan halen.

De resultaten worden getoond in onderstaande tabel.

Tabel 9: Testresultaten statische trektesten iteratie 3

Test results	2,5kg (25 Newton)	3kg (30 Newton)	3,5kg (35 Newton)	4kg (40 Newton)	4,5kg (45 Newton)	5kg (50 Newton)
	1,2 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
1,5 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
2,4 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
3 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
4,3 mm BFT	Pass	Pass	No Pass	No Pass	No Pass	No Pass

In deze tabel worden verplaatsingen van meer dan één millimeter niet toegelaten na een tijd van zo'n 10 minuten.

Uit de tabel blijkt dat voor de kabels met aramidevezels geen verplaatsingen zijn waargenomen. Voor deze kabels is het concept geschikt om de kabels te fixeren.

Bij blown fiber tube kabels van 4,3 millimeter is de verplaatsing te groot vanaf een kracht van 35 Newton. Dit resultaat wordt niet getolereerd.

5.5.3 IPx5- en IP5x-testen

Opnieuw wordt het concept getest op waterdichtheid. De test die in Bijlage 8.3 beschreven staat, wordt opnieuw uitgevoerd. De opstelling van deze test is analoog aan die van iteratie twee en wordt in onderstaande figuur getoond.



Figuur 147: IPx5-testopstelling

Zoals verwacht kan na de test vastgesteld worden dat het water niet verder in het systeem geraakt dan in de vorige iteratie. Het water bevond zich op dezelfde locaties als weergegeven in Figuur 141.

Daarna werd het product gedroogd en in de IP5x-test-cabine gehangen. Dit gebeurde op dezelfde wijze als in de vorige iteratie. Het resultaat was zoals verwacht positief. Het design werd qua afdichtings-labyrint niet aangepast en blijft dus evengoed sealen.

Om het concept te toetsen aan strengere eisen, werd geprobeerd om het onder te dompelen in een waterbassin. Als het systeem 15 cm onder de waterspiegel wordt ondergedompeld voor minstens 30 minuten én nog steeds geen water doorlaat komt het in aanmerking voor een IP-graad van minstens x7. Onderstaande figuur toont een korte test om vast te stellen of deze test volledige uit gevoerd kan worden of niet.



Figuur 148: Onderdompelen van het systeem.

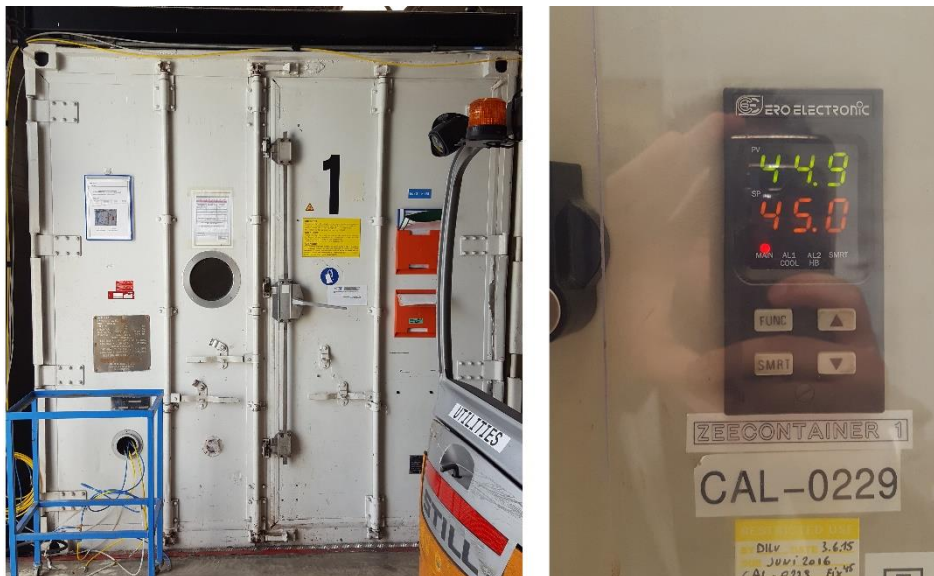
Als er op het eerst zicht geen bellen uit de behuizing kwamen kon de test uitgevoerd worden. Dit is niet het geval. De behuizing blijft in de IPx5-klasse ingedeeld.

5.5.4 Trektesten op temperatuur

Tot nu toe werden de behuizingen enkel getest op kamertemperatuur. Echter staat in de doelstellingen beschreven dat het product moet werken in omgevingen waar het vaak kouder of warmer wordt. Volgens IEC 61753-1, categorie A & C, dient het product te werken in omgevingen waar het tot 65°C warm wordt en tot -10°C kan afkoelen.

Om het product in deze omstandigheden te testen werd gestart met het testen op 45°C. Dit is nog steeds niet warm genoeg om te voldoen aan de norm maar geeft al wel een goed beeld over hoe de rubber fixeert op hogere temperaturen.

Om deze test te doen, beschikt het bedrijf over zeecontainers die op temperatuur gehouden worden. Onderstaande figuur toont deze container met een temperatuurregeling.



Figuur 149: Zeecontainer 1 met temperatuurregeling

In de container is een rek voorzien waarop de teststukken gemonteerd kunnen worden. Voor de eenvoudigheid werd dit gedaan met snelbinders om het onderdeel snel te monteren. De montage in de container wordt in onderstaande figuur getoond.



Figuur 150: Binnenkant van de container en montage van het te testen onderdeel.

Bij deze test werd verwacht dat de rubber zachter wordt en meegetrokken wordt door de kabel. Uiteraard zullen de kabels met aramidevezel geen last mogen ondervinden van de warmte en goed gefixeerd blijven. Ook tijdens deze test worden de gewichten stapsgewijs verzwaard met 0,5kg. Onderstaande tabel toont de resultaten voor de trektest op 45°C.

Tabel 10: Testresultaten op 45°C

Test results 45°C	2,5kg (25 Newton)	3kg (30 Newton)	3,5kg (35 Newton)	4kg (40 Newton)	4,5kg (45 Newton)	5kg (50 Newton)
	1,2 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
1,5 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
2,4 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
3 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
4,3 mm BFT	No Pass	No Pass	No Pass	No Pass	No Pass	No Pass

Zoals verwacht wordt de rubber meegetrokken bij hogere temperaturen. Het effect van de warmte is zelfs zo groot dat de verplaatsing van de kabel 5 à 6 millimeter is bij een last van 2,5kg. Dit resultaat werd opgemeten na een test van ruim 10 minuten. Onderstaande figuur toont het gedrag van de rubber.



Figuur 151: Gedrag van de rubber bij hogere temperaturen.

Dit gedrag is natuurlijk onacceptabel en hiervoor moet een oplossing gezocht worden.

De trektesten op temperaturen worden verdergezet in een andere ruimte waar de temperatuur op -15°C wordt gehouden. De onderdelen werden een hele nacht in deze omstandigheden geplaatst vooraleer de test aangevat werd. Het opbouwen en plaatsen wordt getoond in onderstaande figuur.



Figuur 152: Test op -15°C

Tijdens deze test kreeg de rubber voldoende tijd om tot een lage temperatuur af te koelen. Er werd verwacht dat de rubber, net als kauwgom, zeer stevig wordt onder lage temperaturen. Ook bij deze test werden de gewichten trapsgewijs verzaamd met 0,5kg. Onderstaande tabel toont de resultaten van deze test.

Tabel 11: Testresultaten bij -15°C

Test results -15°C	2,5kg (25 Newton)	3kg (30 Newton)	3,5kg (35 Newton)	4kg (40 Newton)	4,5kg (45 Newton)	5kg (50 Newton)
1,2 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
1,5 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
2,4 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
3 mm met aramide	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass
4,3 mm BFT	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

De resultaten van deze test zijn uitstekend. Zelfs bij het aanhangen van 5kg was er geen enkele verplaatsing.

6 Bestuderen van het lijmconcept

Een tweede concept werd parallel met het wrijvingsconcept uitgewerkt. In dit concept zal een lijm of uithardende stof rond de kabel die gemonteerd wordt. In alinea 4.4.2 werd dit concept al reeds besproken. In dit hoofdstuk wordt een ontwerp besproken en het testen ervan.

6.1 Prototype ontwerp

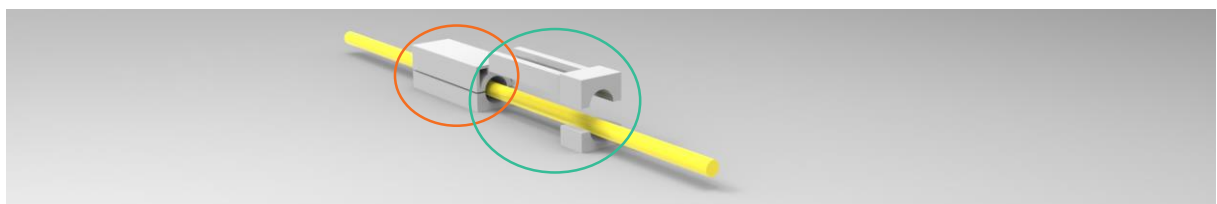
Ook in dit concept wordt modulariteit een belangrijk aspect. Er werd getracht om opnieuw een onderdeel rond de kabel te plaatsen dat de kabel fixeert en afdicht. Dit onderdeel past op zijn beurt in de wand van een behuizing.

Heel vaak worden de onderdelen voor een lange tijd opgeborgen vooraleer deze gebruikt worden. Daarom mag de stof, die de fixatie en de afdichting voorziet, niet uitharden voor dat het onderdeel gebruikt wordt. Dit voorkomen is mogelijk door gebruik te maken van een twee-componenten-lijm. Bij deze lijmen blijven twee stoffen gescheiden tot er gelijmd moet worden. Wanneer de stoffen gemengd worden, reageren deze met elkaar en hardt de gemengde stof uit.

Een eerste idee bestond uit twee onderdelen die in elkaar geklikt werden. Bij het klikken zouden dan twee reservoirs breken. Hierdoor komen twee vloeistoffen in dezelfde ruimte en kunnen deze met elkaar reageren en uitharden. Een probleem met dit idee is dat de twee componenten nooit voldoende kunnen mengen om goed te reageren.

Door de twee componenten in een statische mixer te laten vloeien, kan een voldoende menging voorzien worden. Dit principe wordt reeds gebruikt bij commerciële lijmpistolen. In bijlage 8.4 wordt dit principe verduidelijkt aan de hand van een figuur uit een patent.

Het ontwerp zal moeten bestaan uit twee reservoirs en een statische mixer. Met een bepaalde handeling zullen beide stoffen door de mixer geduwd worden en rond de kabel vloeien. Onderstaande figuur toont een eerste concept van het volledige systeem.



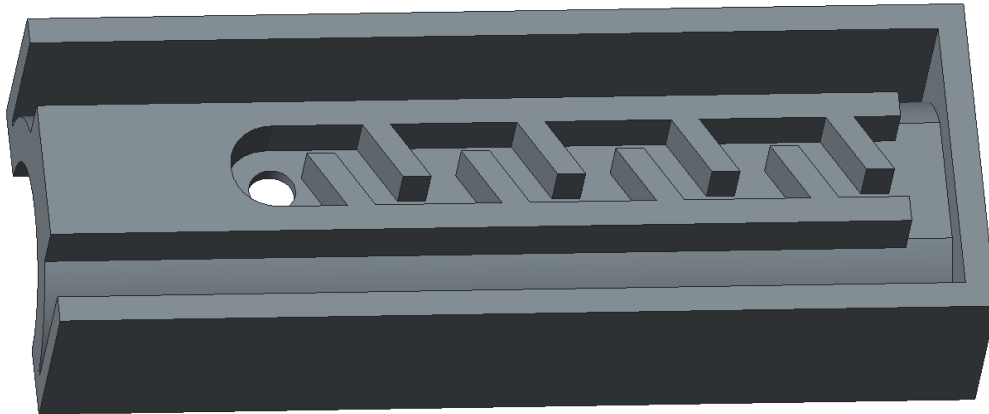
Figuur 153: Design van het volledige systeem met lijm

In dit systeem wordt het linkse onderdeel (omcirkeld met oranje) eerst rond de kabel geplaatst. Deze bevat de twee componenten die gemengd moeten worden. Daarna wordt een tweede onderdeel (omcirkeld met groen) rond de kabel geplaatst. Dit onderdeel bevat twee plunjers. Tijdens het monteren worden deze plunjers in de links blok geschoven om de twee componenten door de mixer te duwen. Hierdoor zal het mengsel rond de kabel vloeien en uitharden.

6.2 Testen en verbeteren van het lijmconcept

Om te testen of dit ontwerp de stoffen goed mengt, worden simulaties uitgevoerd in het programma Autodesk® Simulation CFD 2016. Dit programma heeft een lagere instapdrempel dan bijvoorbeeld Ansys®.

Om een simulatie van deze aard te starten, wordt een stepfile uit Creo gehaald en ingeladen in CFD. De stepfile die hiervoor gebruikt wordt is een eerste versie van de statische mixer. In onderstaande figuur wordt de layout van deze mixer getoond.



Figuur 154: Eerste versie van de statische mixer

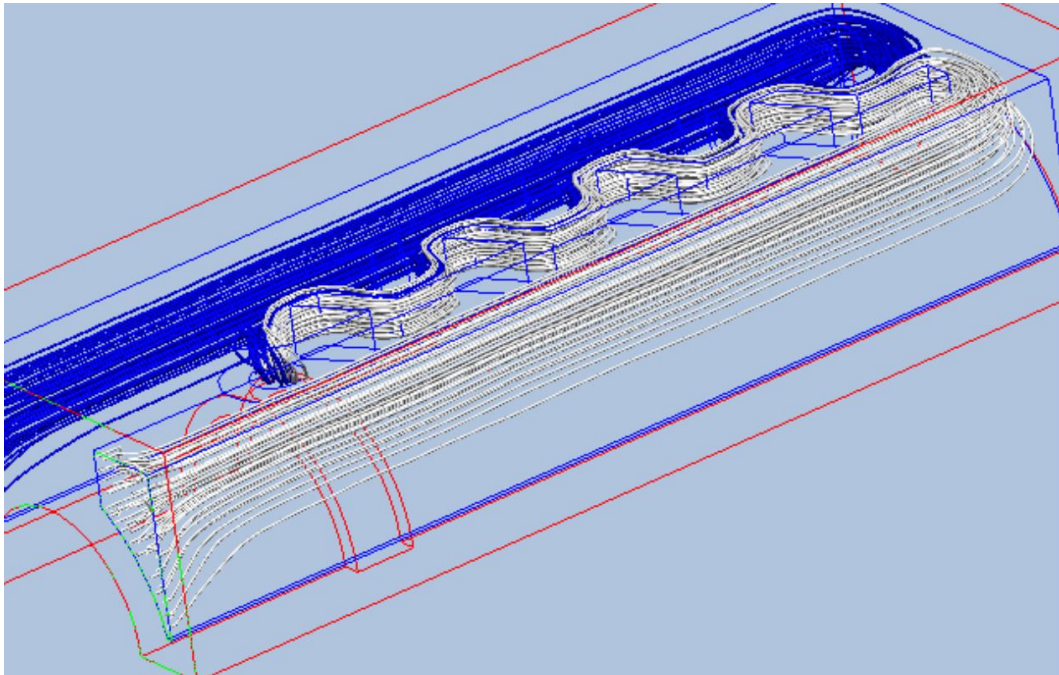
Naast een stepfile heeft het programma heel wat randvoorwaarden nodig om berekeningen te kunnen doen. Om de mixer toch te kunnen simuleren worden hiervoor veronderstellingen gedaan.

Eerst en vooral wordt gevraagd om de stoffen te specificeren die door de mixer zullen vloeien. Na een gesprek met experts ter zake bleek dat de twee componenten zowel heel vloeibaar als zeer viskeus kunnen zijn. Voor de berekeningen wordt er vanuit gegaan dat beide stoffen zeer hard gelijken op water en zich zo gedragen.

Een volgende parameter is de snelheid waarmee de stoffen doorheen de mixer vloeien. Gevoelsmatig werd bepaald dat dit 40mm/seconde is. Er wordt vanuit gegaan dat het systeem (dat 40mm lang is) dichtgeduwd kan worden op één seconde.

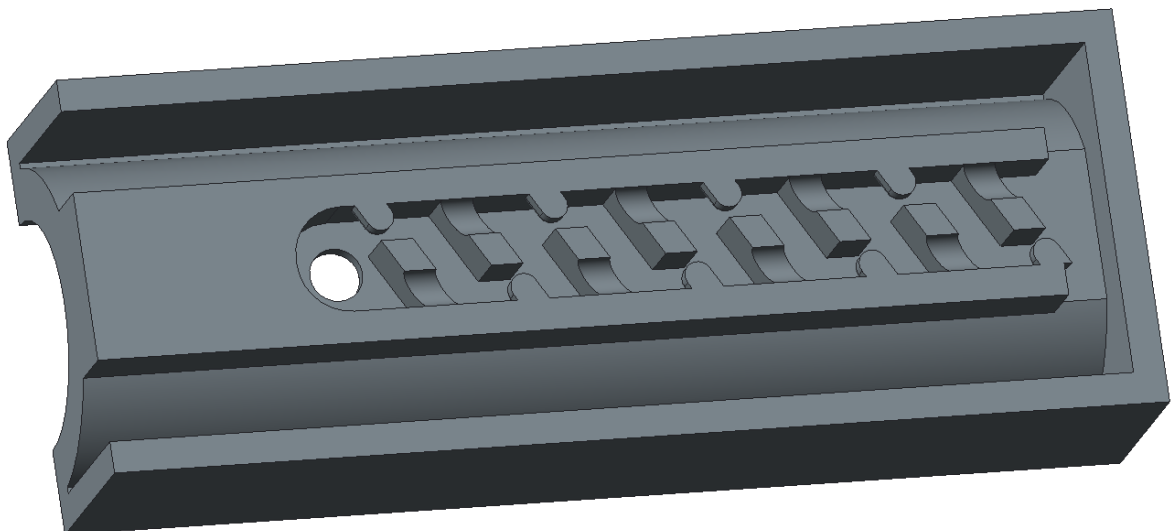
De uitgang van de mixer wordt gekenmerkt door een druk van 0 Pa toe te kennen. Deze randvoorwaarde werd ingevoerd op aangeven van een tutorial voor het programma.
[22]

Wanneer de berekeningen gedaan zijn, kunnen deeltjes van de stof gevolgd worden door 'traces' toe te voegen. Er werd een set toegevoegd voor de ene stof en een set voor de andere. Het resultaat wordt getoond in onderstaande figuur.



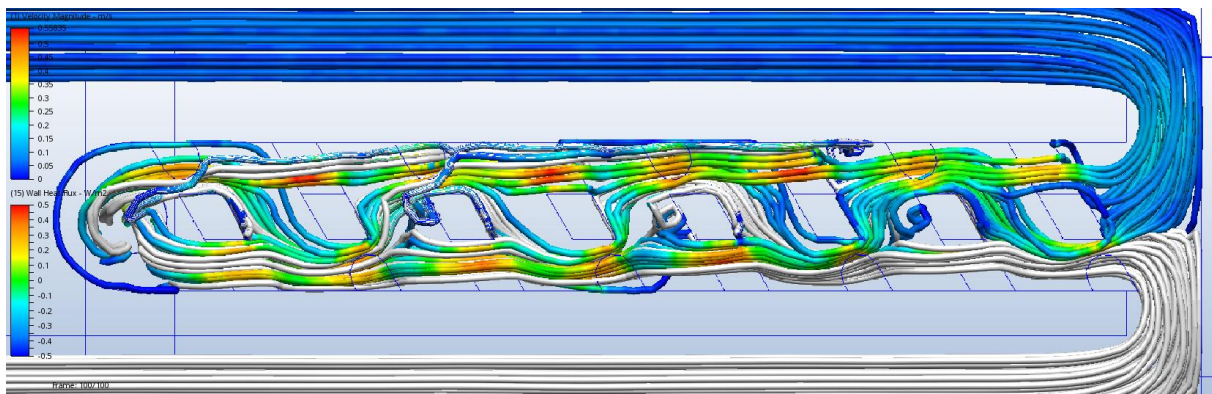
Figuur 155: Eerste testresultaten van de statische mixer

Voor zover deze berekeningen kloppen kan toch vastgesteld worden dat de mixer niet voldoende mixt. In Figuur 155 is dit zichtbaar doordat de witte lijnen eerder parallel blijven met de blauwe en amper mengen. Een re-design van dit concept wordt in onderstaande figuur getoond. Er werden extra obstakels voor de vloeistoffen toegevoegd.



Figuur 156: Re-design van de statische mixer

Ook dit design werd in het programma gesimuleerd. Om een vergelijkbaar resultaat te bekomen, worden exact dezelfde randvoorwaarden gebruikt. Onderstaande figuur toont het resultaat van de tweede simulatie.



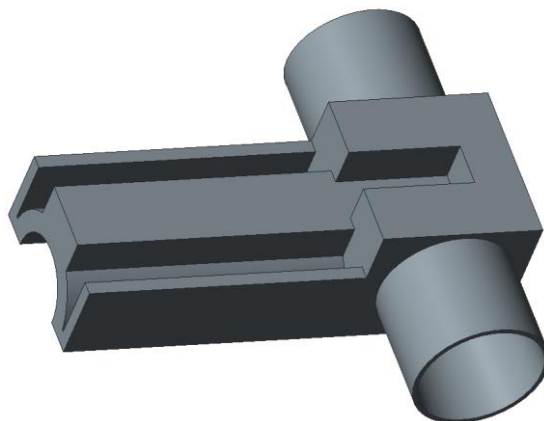
Figuur 157: Traces bij de tweede simulatie

In vergelijking met de vorige simulatie, mengen de vloeistoffen beter.

Na een aantal simulaties gedaan te hebben, bleven de vele onbekenden in de berekeningen toch een struikelblok om betrouwbare resultaten te laten berekenen door het simulatiepakket. Hierdoor werd opnieuw beroep gedaan op expertise van werknemers bij CommScope.

Deze mensen zijn vooral gespecialiseerd in Ansys-analyses die gericht zijn op magnetisme. Na het spreken van enkele werknemers werd het simuleren stopgezet. De leercurve van de simulatiepakketten was niet steil genoeg. Het pakket kan niet voldoende beheerst worden binnen de periode van de Masterproef.

Om de statische mixer toch te kunnen testen werd het concept aangepast. Door deze aanpassing is het mogelijk om met injectiespuiten (zonder naald) een gekleurde vloeistof in de mixer te spuiten. Door elke spuit een eigen kleur te geven kan de kleur aan de uitgang geanalyseerd worden. Als de individuele kleuren niet meer zichtbaar zijn, kan gesteld worden dat de mixer behoorlijk werkt. Om injectiespuiten te kunnen gebruiken wordt het concept aangepast. Onderstaande figuur toont de aanpassing.



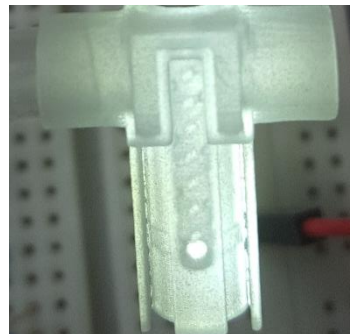
Figuur 158: Statische mixer met aansluitingen voor injectiespuiten

De mogelijkheid bestaat om dit onderdeel te laten printen in doorzichtig materiaal. Na het printen is het onderdeel diffuus waardoor de binnenkant niet goed zichtbaar is. De print kan beter doorzichtig gemaakt worden door het te behandelen maar daarvoor is het onderdeel te klein. Deze behandelingen worden echter met de hand uitgevoerd. Onderstaande figuur toont het geprinte onderdeel.



Figuur 159: Geprinte onderdelen om te testen met injectiespuiten.

Ondanks dat het onderdeel diffuus is, is de statische mixer toch zichtbaar met voldoende lichtinval. Onderstaande figuur toont het onderdeel dat doorlicht is door drie leds.



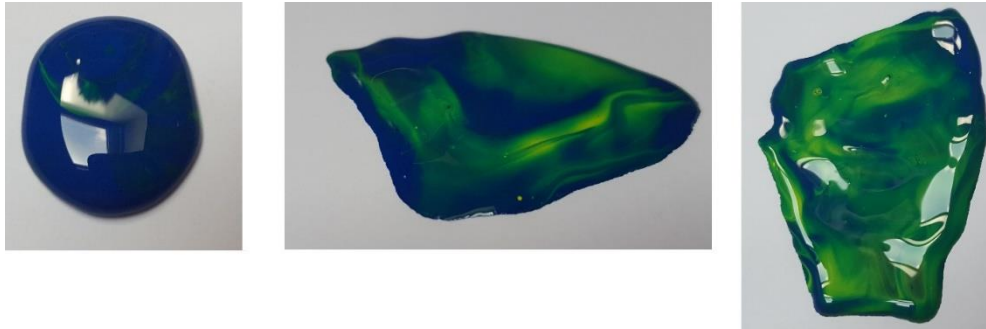
Figuur 160: Onderdeel doorlicht met leds

Om te testen of de statische mixer goed werkt, worden twee kleuren plakkaatverf doorheen het onderdeel gespoten. De eerste test wordt gedaan met onverdunde verf. De viscositeit is bij deze test zeer hoog. Er wordt verwacht dat de hoge viscositeit het mengen vermoeilijkt. Onderstaande figuur toont de twee kleuren in de mixer.



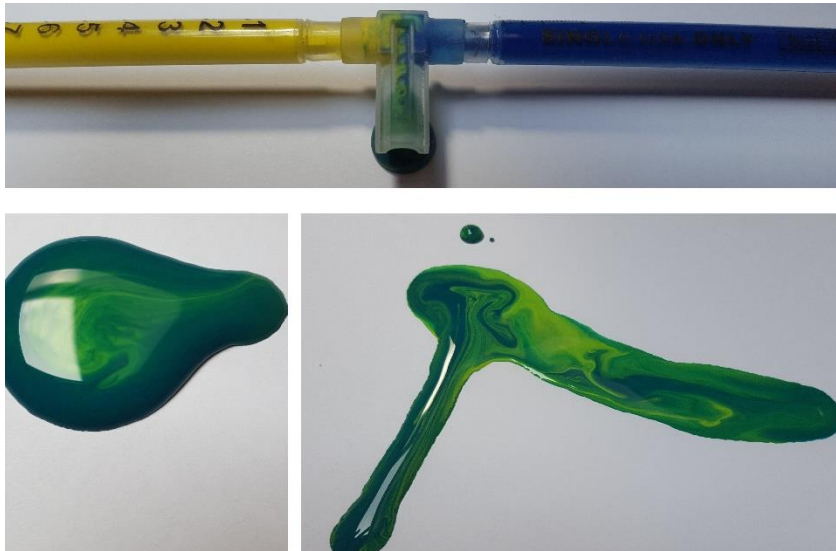
Figuur 161: Onverdunde verf in de statische mixer.

Naarmate de vloeistoffen verder door de mixer vloeien lijken deze alsmaar meer te mengen wat op zich een goed teken is. De test is echter zeer belovend als ook het product, dat uit de mixer komt, een egale kleur heeft. Omdat blauw en geel gemengd worden, zal het resultaat een effen groen moeten zijn. In Figuur 163 wordt het resultaat van deze test getoond.



Figuur 163: Van links naar rechts: Openblazen van het resultaat.

Door op de druppel te blazen wordt deze opengesmeerd. De individuele kleuren zijn nog steeds duidelijk zichtbaar. De menging is zoals verwacht vrij problematisch. Een oplossing voor dit fenomeen is het verlengen van de mixer. In dit concept is dit niet de beste oplossing omdat het onderdeel klein moet blijven. Een andere oplossing is het verlagen van de viscositeit. De plakkaatverf wordt in de volgende test verdund met water. De verhouding is 50% water, 50% verf. Het resultaat van deze test wordt in onderstaande figuur getoond.



Figuur 162: Resultaat na eerste verdunning.

Uit dit resultaat blijkt dat het verdunnen van de verf nut heeft. De individuele kleuren mengen beter dan in de eerste test. Maar de menging is nog steeds niet voldoende om een twee-componenten-lijm te mengen. De laatste test wordt uitgevoerd met zeer verdunde verf. De verhouding is 50ml water en 0,5ml verf. Onderstaande figuur toont de resultaten.



Figuur 164: Resultaten na het extreem verdunnen van de verf.

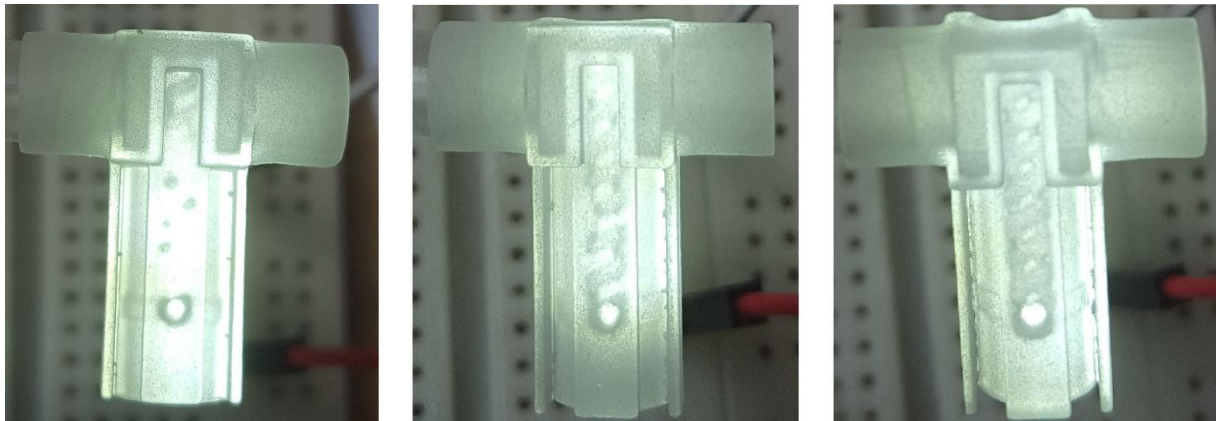
Deze laatste testen tonen een goede menging, al van bij de eerste bochten in de mixer.

6.2.1 Conclusie van het lijmconcept

De mixer presteert goed bij vloeistoffen die een lage viscositeit hebben. Wanneer de twee vloeistoffen de viscositeit van water benaderen, worden deze al bij het begin van de mixer voldoende gemengd.

Om verder te onderzoeken of dit concept toegepast kan worden, moet onderzocht wat de maximale viscositeit is van de individuele stoffen en wat de minimale mengverhouding van de mogelijke twee componenten is. Eens de stoffen voldoende gemengd zijn en zich rond de kabel kunnen nestelen, kan een kabel goed gefixeerd en afgedicht worden.

Het onderdeel werd tijdens het ontwerp zo klein mogelijk gehouden. Hierdoor wordt het onderdeel met de statische mixer een onderdeel om zeer moeilijk te produceren. Zelfs om te 3D-printen is het niet altijd mogelijk. Tijdens de masterproefperiode was dit al reeds het geval. De eerste bestelling werd correct geprint, maar de tweede bestelling van dezelfde onderdelen kampte met slecht geprinte mixers. Onderstaande figuur toont de fouten in twee van de vier producten.



Figuur 165: Van links naar rechts: Alsmear beter geprinte statische mixer. De uiterst rechtse is correct geprint.

De mixer is een zodanig ingewikkeld ontwerp dat het niet spuitgietbaar is in één onderdeel. Het onderdeel opdelen in twee stukken is een optie maar verhoogt het totaal aantal onderdelen. Dit samen met het opdelen die de plunjer bevat brengt het totaal op **vijf verschillende onderdelen**. Dit kan teruggebracht worden naar drie onderdelen door het integreren van filmscharnieren. Hierdoor worden twee afzonderlijke onderdelen rond de kabel geplooid. Het derde onderdeel dient om de mixer te vervolledigen.

Slot

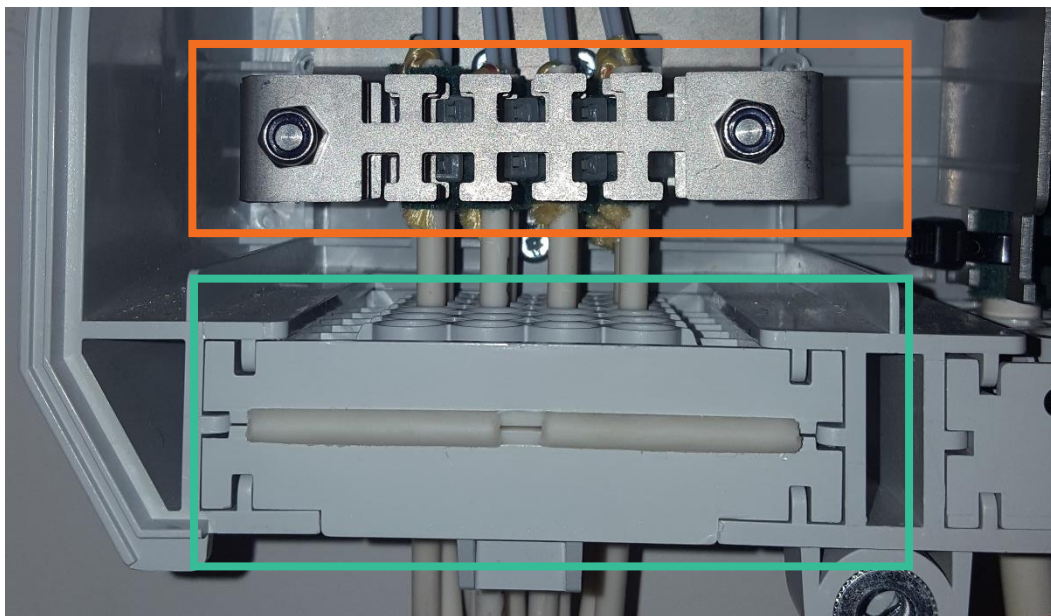
7 Conclusie

Over de twee concepten kan een totale conclusie getrokken worden. Dit wordt gedaan aan de hand van het Product Requirement Document (hoofdstuk 3.2) dat aan het begin van de masterproef werd opgesteld. Elk punt wordt individueel besproken.

7.1 Totale conclusie van het wrijvingsconcept

Dit concept werd tijdens de masterproefperiode het meest uitgewerkt en kon uitgebreid getest worden. Dit concept hoort aan alle aspecten te voldoen om in productie te gaan. Echter was het niet het doel om een systeem te ontwerpen dat volledig klaar is voor productie. De opzet van deze proef was om een andere inkijk te krijgen in het probleem waar verscheidene werknemers bij CommScope het hoofd al over hebben gebogen.

Het systeem dat tijdens deze masterproef ontwikkeld werd, wordt vergeleken met een bestaand systeem. Dit systeem wordt in onderstaande figuur getoond.



Figuur 166: Huidige fixatie en sealing

De onderdelen in de oranje kader dienen om te fixeren. Het onderdeel in de groene kader dient enkel om af te dichten.

De vergelijking start met het eerste punt in de PRD: **drop-cable fixation (push and pull forces)**. De fixatie van het systeem werd op verscheidene manieren getest en er kan geconcludeerd worden dat het systeem bijna voldoet aan de eis. Kabels met aramidevezels voldoen zonder problemen aan de eis. Op kamertemperatuur en lager (-15°C tot 20°C), kunnen kabels met een stevige mantels en een grotere diameter (4,3mm in de testen) zonder probleem gemonteerd worden. Bij testen op 45°C wordt dit laatste een probleem. De rubber blijkt hier de zwakke schakel te zijn.

Het tweede punt van de vergelijking is de **IP-graad** van het systeem. Door testen te doen met water en stof kan besloten worden dat het systeem een IP55-graad toegewezen krijgt. Dit doel werd zonder problemen gehaald. Er werd eveneens getest of het systeem hogere graden kan halen. Van zodra het systeem ondergedompeld wordt, vloeit er water in het systeem. Een strengere test met stof werd niet uitgevoerd.

De modulariteit van het systeem was één van de belangrijkste aspecten tijdens het ontwerpen. Het systeem geeft de mogelijkheid om de kabels in rijen en kolommen op te bouwen. De keuze waar een desbetreffende kabel geïnstalleerd wordt, ligt volledig bij de installateur en kan eventueel nog gewijzigd worden.

De onderdelen die ontworpen werden moesten **Wrap-around** zijn. Dit betekent dat het onderdeel op één of andere manier rond de kabel gemonteerd moest worden. De cable-case wordt met een filmscharnier rond de kabel geplaatst wat aan de eis voldoet.

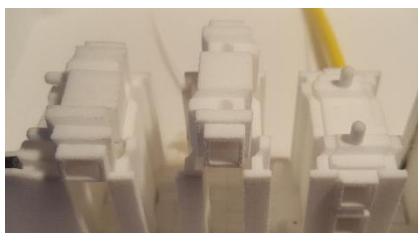
Een vijfde doel was om **plaats in de behuizing te besparen** door fixatie en sealing te combineren. Het systeem heeft nu een diepte van om en bij de 30mm. In vergelijking met het systeem in Figuur 166 is dat een vermindering van 65%.

De kabeldichtheid doorheen de wand is het zesde doel. Het huidige systeem heeft 24 kabel-ingangen op een oppervlakte van 2184mm². Het concept heeft 24 kabel-ingangen op 2275mm². Dit is een kleine vermeerdering tegenover het oude systeem van zo'n 4%. Hierdoor wordt dit doel net niet gehaald.

Gedurende het gebruik van de behuizing, moest deze zijn IP-graad behouden. Het concept is zo ontworpen dat dummy's en cable-cases dezelfde vorm hebben. Dus als de behuizing nu volledig voorzien is van kabels of er zijn helemaal geen kabels geplaatst dan blijft de IP-graad gelden.

In het systeem kunnen kabels gemonteerd worden met aramidevezels, zonder aramidevezels, verschillende mantelmaterialen, verschillende vormen, Ongeacht de bouw van de kabel, deze kan gemonteerd worden als deze een diameter heeft tussen 1,2mm en 4,3mm. **Het systeem is flexibel voor verscheidene kabeltypes.**

Het moet een systeem zijn waarvan de installatie niet te ingewikkeld is. Installateurs zijn liefst zo snel mogelijk bekend met het **installeren** ervan. Daarom werd het ontwerp in enkele aspecten 'Poka-Yoke' ontworpen. Het labrynt is bijvoorbeeld zo ontworpen dat er maar twee goede manieren zijn een dummy of cable-case te monteren. Onderstaande afbeelding toont dat de dummy (en dus ook de cable-case) maar op één manier te monteren is.



Figuur 167: Poka Yoke-ontwerp

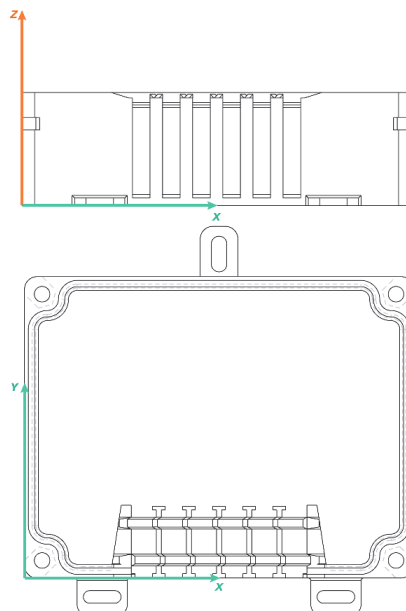
Een 10^e eis was dat **de kabel-range overbrugt moest worden met zo weinig mogelijk onderdelen**. In het ontwerp is het mogelijk om maar één onderdeel te gebruiken voor de range van 1,2mm tot 4,3mm.

Als volgt moest zo veel mogelijk **kabelvoorbereiding buiten de behuizing gebeuren**. In dit ontwerp wordt elke mogelijke voorbereiding buiten de behuizing gedaan. Enkel het inschuiven van een dummy of cable-case gebeurt in de behuizing. In vergelijking tot het huidige systeem is dit een grote verbetering. In dat systeem worden beugels in de bodem geschroefd en latjes op deze beugels bevestigd. Ook het bijplaatsen van kabels is in het huidige systeem een karwei dat in de behuizing gebeurt.

Het installeren van het oude systeem gebeurt met veel handelingen. **Hierdoor duurt het lang om één kabel te installeren**. In het nieuwe systeem moet enkel de cable-case rond de kabel geklikt worden en de aramidevezels rond het pootje gedraaid/geknoopt worden. De installatie zal dus sneller gebeuren.

Het twaalfde doel heeft eveneens te maken met het monteren van de kabels. **De montage moest gebeuren in de hoogterichting van de behuizing**. Of als de behuizing gemonteerd is, wordt dit de diepte van de behuizing. Onderstaande figuur toont een oranje as waarin de montagerichting gericht moet zijn.

Het ontwerp is voorzien van inschuifstroken die in de diepterichting opgebouwd zijn. Dit zorgt ervoor dat de opbouw alleen maar in de diepterichting kan gebeuren. Er wordt dus voldaan aan deze eis.



Figuur 168: Montage richting in de z-as

In het ontwerp is het mogelijk om kabels te installeren en geïnstalleerd te laten bij het plaatsen van andere kabels. Hierdoor werd ook aan eis 14, **Cable installation flow**, voldaan.

Doel 15 beschrijft dat alle types vezels gemonteerd moeten kunnen worden. Het monteren van glasvezels wordt beperkt door de buigradius van een bepaald type vezel. In het ontwerp worden geen vezels gebogen dus er wordt aan deze eis voldaan.

Het naar binnen bewegen van de kabel of vezel bij het krimpen of uitzetten van de kabel werd in deze masterproef niet getest. Hierdoor is het systeem niet aangepast aan dit verschijnsel.

Tijdens de installatie van de kabel wordt er **afval** gegenereerd. De dummy-onderdelen worden verwijderd bij het installeren van kabels.

Wanneer een kabel geïnstalleerd wordt, mogen de **signalen doorheen de reeds geïnstalleerde kabels niet verstoord worden**. In het ontwerp is het niet nodig kabels te demonteren dus blijft het signaal door de vezels 'transient-free'.

Ook een **strengthmember kan de behuizing in of uit bewegen** wanneer de kabel onderhevig is aan temperatuurschommelingen. Dit wordt in het ontwerp tegen gegaan door de aramidevezels rond een staafje te wikkelen. Echter is dit aspect niet getest tijdens de periode van de masterproef.

Om te voldoen aan de **IEC 61753-1** norm, categorie A & C, moet het product presteren tussen temperaturen van -15°C en 65°C. De rubber wordt viskeuzer naarmate deze warmer wordt. Hogere temperaturen dan zo'n 35-40°C zorgen voor problemen als de rubber ook moet fixeren. Voor kabels met aramidevezels is dit geen probleem en wordt de eis gehaald.

Wanneer het product in productie zou gaan, wordt geopteerd om een polymeer van Sabic te gebruiken. Dit polymeer wordt beschreven in bijlage 8.5 en werd al talloze keren getest binnen het bedrijf. Door dit materiaal te gebruiken wordt voldaan aan **eis 21 tot en met 24**.

Doelstelling 25 werd tijdens de masterproef niet getest.

Tijdens het ontwerp werd geen rekening gehouden met inbouw mogelijkheden in reeds bestaande producten. Hierdoor zal het systeem een nieuwe productlijn worden. Het doel dat dit systeem niet **retro-fit** hoeft te zijn, is voldaan.

Eis 27, de **verwachte hoeveelheid onderdelen**, is een aangenomen hoeveelheid. Dit aantal wordt gebruikt in de laatste doelstelling: de cost saving.

Als voorlaatste doelstelling werd rekening gehouden met de **installateursveiligheid**. Scherpe randen kunnen verwondingen veroorzaken. Door alle randen af te ronden met een straal van 0,2mm werd dit verholpen.

Tot slot werd een **kostprijsvergelijking** gedaan met het huidige systeem. Er wordt vanuit gegaan dat in beide systemen, 24 kabels geïnstalleerd worden. De onderdelen die daarvoor in het huidige systeem nodig zijn worden in onderstaande lijst opgesomd met de bijhorende prijs. De prijs van een behuizing en deksel wordt niet meegerekend omdat dit in beide berekeningen zowat dezelfde kost is.

5 latjes	€0,46 x 5
Basis (in de behuizing te schroeven)	€2,6
Sealing (grote)	€3,45
2 Foamstrips (rond de kabel te wikkelen)	€0,07 x 2
3 Snelbinderkits (8 per kit, 1 per kabel)	€0,62 x 3
Totaal:	€10,35

De kostprijs van 24 cable-cases en 24 dummy's moet minder dan €10,35 zijn om aan deze eis te voldoen.

Eerst werd een kostprijsschatting gedaan door een matrijs aan te vragen en de stukprijs te laten bepalen door een extern bedrijf. De offerte hiervan bevindt zich in onderstaande figuur.

Tabel 12: Prijsschatting extern bedrijf

Customer part no	Description	No. of Cavity	Tooling Price US\$	Part price US\$	MOQ Pcs	Raw Material Lead time (Wks)	Production Lead time (with 6 months FC) (Wks)
TBA	Cable Case V5 hinged	1	7600	0.5218	1000	9	6
TBA	Cable Case V5 hinged			0.3974	2500	9	6
TBA	Cable Case V5 hinged			0.3530	5000	9	6
TBA	Cable Case V5 hinged			0.3285	10000	9	6
TBA	Dummy V4 stackpart	1	7100	0.5472	1000	9	6
TBA	Dummy V4 stackpart			0.4227	2500	9	6
TBA	Dummy V4 stackpart			0.3782	5000	9	6
TBA	Dummy V4 stackpart			0.3538	10000	9	6

Deze offerte werd besproken met een intern expert ter zake. De offerte die het bedrijf maakte voor een product uit Gelyo bleek veel te duur. Ook werd er geen co-mould in acht genomen. In een co-mould productie wordt eerst het polymeer gespoten. Daarna wordt de rubber in het polymeer gespoten. Dit kan ofwel door de matrijs te draaien of door manuele insputting door productiemedewerkers.

Naar aanraden van deze expert kon ook het materiaal veranderd worden naar een goedkopere variant. Het materiaal voor de producten werd veranderd naar PP58 MNK10 van Sabic. Een datasheet van dit materiaal kan gevonden worden in bijlage 8.6.

Dit polymeer is goedkoper en eenvoudiger te gebruiken in productieprocessen. Zo moet PP58 niet in een verwarmde matrijs ingespoten worden. Bij Gelyo wordt de matrijs op 60°C gehouden, wat de productietijd langer maakt.

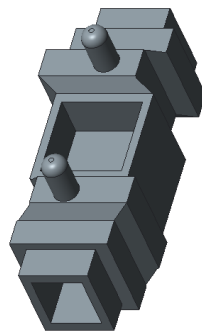
De expert die over deze informatie beschikt bepaalde de stukprijzen voor de producten. Dit gebeurde met de volgende gegevens:

Materialaalkost:	€0,0137/stuk	
Werkkost:	€0,0444/stuk	
Overhead:	€0,2954/stuk	(sterk overdreven met
€79/uur)		
	€0,1943/stuk	(+/- €50/uur)
	€0,0935/stuk	(€25/uur)

De totale kostprijs per stuk wordt dan €0,2524. Voor 24 geïnstalleerde kabels kost dit €6,0576 met een vrij hoge overhead. Met de minimum overhead wordt de stukprijs €0,1516. 24 geïnstalleerde kabels kosten dan €3,6384.

De productie van de dummy zou perfect kunnen maar het ontwerp was nog niet optimaal om te gaan spuitgieten. Door de dikte ervan zou het stuk enorm gaan krimpen na het spuiten. Dit kon verhinderd worden door enkele stukken uit te hollen.

Onderstaande figuur toont een verbetering van het ontwerp.



Figuur 169: Uitgeholde dummy

Het volume van de dummy bedraagt 1700mm³. PP58 heeft een dichtheid van 905kg/m³. De dummy weegt dan 1,538 gram. Wetende dat PP58 €3,9/kg kost, konden de volgende gegevens verzameld worden voor dit product:

Materialaalkost:	€0,006/stuk	
Werkkost:	€0,0444/stuk	
Overhead:	€0,2954/stuk	(sterk overdreven met
€79/uur)		
	€0,1943/stuk	(+/- €50/uur)
	€0,0935/stuk	(€25/uur)

Voor de eenvoudigheid worden de werkkosten en overheads behouden. Deze zullen voor de dummy minder zijn dan voor de cable-case. Wegens tijdgebrek wordt met deze waarden verder gerekend. De berekening zal dus duurder uitkomen wat een overschatting van de prijs met zich meebrengt.

24 dummy's zullen voor dit systeem €3,4536 kosten wanneer gerekend wordt met de laagst, gegeven overhead.

In totaal voor het installeren van 24 kabels zijn 24 dummy's nodig en 24 cable cases. De 24 dummy's worden standaard in de behuizingen geleverd. Bij de installatie van één enkele kabel, wordt één dummy weggegooid. Deze onderdelen kosten in totaal €7,092. Voor de duurste overhead wordt de totale prijs €16,7832.

Afhankelijk van de overhead die voor de onderdelen gekozen wordt, kan het systeem goedkoper of duurder zijn. Met de laagste overhead wordt nog steeds winst gemaakt op het systeem dus er kan geconcludeerd worden dat deze eis gehaald wordt.

In onderstaande tabel worden de eisen groen gekleurd die gehaald werden. De oranje eisen werden niet gehaald of er is verbetering mogelijk voor die bepaalde eis. De niet geteste eisen blijven wit.

Tabel 13: PRD met behaald of niet-behaalde doelstellingen

COMMSCOPE®

Product Requirements Document (PRD)

PROJECT NAME Ontwikkeling van een modulaair systeem dat het fixeren en afdichten van glasvezelkabels combineert.		CURRENT REVISION 1.6
PROJECT NUMBER WWS380		DATE 24/04/2016
"a solution combining sealing and fixation into one modular block for new boxes"		
ID	DESCRIPTION	
1	drop-cable fixation (push and pull forces)	
2	IP-grade for installed box	
3	Modularity	
4	Avoid cable feed through	
5	Decrease space in box consumed by sealing and fixation parts (reference BUDI)	
6	Cable entrance density (amount of dropcables per cm ²)	
7	box maintains IP-grade without cables, with a few cables installed and at full capacity	
8	one solution for different cabletypes	
9	assembly and mounting	
10	Components used to cover cable range	
11	Cable preparation	
12	Installation time	
13	Installation acces in products	
14	Cable installation flow	
15	fiber-grades	
16	managing cable grow-out	
17	Waste generation of installation	
18	Cable installation requirement	
19	managing strengthmember grow-out	
20	Environmental category	
21	Materials to be avoided in products	
22	UV resistance	
23	Geographical area	
24	flame retardant	
25	Impact resistant (IEC 62262)	
26	Product-range compatibilty	
27	Expected quantities	
28	Installer safety (avoid injuries)	
29	Cost saving	

7.1.1 Voorstellen tot verbetering

De prestaties van de rubber kan zeker en vast verbeterd worden. Tijdens deze masterproef werd onderzocht welk materiaal een gangbare piste kan zijn om dit probleem op te lossen. De specifieke rubber die echter gebruikt werd, is niet geschikt voor alle omgevingen. In de toekomst moet onderzocht worden of er rubbervarianten zijn die beter presteren in exotische klimaten met hoge temperaturen.

Het re-design van de plaats waarin de rubber geplaatst wordt, kan ook een verbetering zijn. Door bijvoorbeeld wanden bij te plaatsen in de kamer, kan de axiale verplaatsing van de rubber meer beperkt worden. Hoewel dit bij hogere temperaturen weinig effect zal hebben.

Door de dummy-onderdelen te gebruiken, moeten deze worden weggegooid als er kabels geplaatst worden. Dit kan verbeterd worden door de cable-case als dummy te gebruiken. De rubber die in de cable-case zit zal dan enkel sealen en geen kabel fixeren. Wanneer dan een kabel geïnstalleerd moet worden, kan de cable-case gedemonteerd en geopend worden om er een kabel tussen te leggen en te monteren. Hiervoor moet onderzocht worden of Gelay het geschikte materiaal is. Filmscharnieren in Gelay kunnen maar enkele keren gebruikt worden. Ook is het globale design van de cable-case niet geschikt om telkens te openen.

Door dit toe te passen zijn de dummy-onderdelen niet meer nodig en wordt op dit aspect een kost bespaard.

7.2 Totale eindconclude van het lijmconcept

Dit concept heeft waarschijnlijk een zeer goede afdichting en fixatie. Echter kon dit niet getest worden zoals het wrijvingsconcept.

Door het plunjer-mixer-systeem zal dit concept uit veel onderdelen bestaan om het wrap-around en produceerbaar te maken. Hierdoor zal het product duur worden. Een tweede factor, die het product duur maakt, is het vullen met twee verschillende componenten.

Deze masterproef behandelt dit onderwerp tot het testen van de statische mixer. Een eventueel vervolg kan zijn dat een lijm wordt gezocht om in het systeem toe te passen. Op basis daarvan kan het design van de mixer aangepast worden indien nodig. Een verder design van de onderdelen kan leiden tot een bruikbaar product.

Bibliografie

- [1] A. Guyton, „Raychem,” Wikipedia, 21 augustus 2015. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Raychem>. [Geopend 18 november 2015].
- [2] D. Nielson, *A Heritage of Innovation: SRI's First Half Century*, Menlo Park, California: SRI International, 2006.
- [3] CommScope, „mijn.groept.be,” CommScope, 2015. [Online]. Available: <https://mijn.groept.be/mijn/bedrijven/ondernemersdag/>.
- [4] Eric Van Herp, *PRES-TE-Telecom-Networks-L-2013-1*, februari: 3, 2013.
- [5] Belgium, Formula Electric, „About,” 2015. [Online]. Available: <http://www.formulaelectric.be/about>.
- [6] FTTH Council Europe, in *FTTH Handbook*, 2014, p. 160.
- [7] R. B. Marks, „wirelessman.org,” 27 July 2015. [Online]. Available: <http://www.wirelessman.org/>.
- [8] Wikipedia, „VDSL2,” Wikipedia, 25 november 2015. [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/VDSL2>.
- [9] K. S. Prakash, „Understanding SONET/SDH,” Electrosofts.com, [Online]. Available: <http://www.electrosofts.com/sonet/>.
- [10] Ltd, Fiber Optic Telecom Co., „fiberoptictel,” 2012-2013. [Online]. Available: <http://www.fiberoptictel.com/crazy-imagination-on-ftth-2014/>.
- [11] J. Hayes, *Fiber Optics Technician's Manual*, Delmar Publishers, 2001.
- [12] Wikipedia, „Optics/Total internal reflection,” Wikipedia, 7 October 2015. [Online]. Available: https://en.wikibooks.org/wiki/Optics/Total_internal_reflection. [Geopend 22 October 2015].
- [13] P. D. F. Mitschke, *Fiber Optics Physics and Technology*, Universität Rostock Institut für Physik Universitätsplatz 3 18055 Rostock: Springer Heidelberg Dordrecht London New York, 2009.
- [14] D. Daems, *Update of IEC 61753-1-Jan 2014*, Kessel-lo: CommScope, 2011.
- [15] Parlement, Europees, „RICHTLIJN 2011/65/EU VAN HET EUROPEES PARLEMENT EN DE RAAD,” Europees Parlement, 8 juni 2011. [Online]. Available: <http://eur->


- lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065&from=NL.
[Geopend 12 december 2015].
- [16] Standards, UL, „Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances,” UL Standards, 07 Juli 2015. [Online]. Available:
<http://ulstandards.ul.com/standard/?id=94&edition=6&doctype=ulstd>.
[Geopend 12 december 2015].
- [17] S. Schnautz, „White Paper – IK code: Impact protection,” Rittal GmbH & Co. KG, Auf dem Stützelberg · 35726 Herborn · Germany.
- [18] Nordson Sealant Equipment, „Potting and Encapsulating Electronic Components,” [Online]. Available:
<http://www.sealantequipment.com/technical/potting-electronics.htm>.
- [19] Roxtec, „Solutions & Products,” [Online]. Available:
<http://www.roxtec.com/us/products/database/modules/?forcelogin=1&pgId=2&aLevel=1&mode=productsOnly>.
- [20] Brand-Rex, „Air Blown Optical Fibre Solutions,” Leviton, [Online]. Available:
<https://www.brand-rex.co.uk/Products/Optical-Systems/Air-Blown-Fibre-System>.
- [21] Degrees of Protection Provided By Enclosures (IP Code), „ANSI/IEC 60529-2004,” National Electrical Manufacturers Association, 1300 North 17th Street, Suite 1847, Rosslyn, Virginia 22209, 2004.
- [22] Youtube, „Autodesk Simulation CFD (CFDesign),” 14 October 2011. [Online]. Available: autodesk cfd tutorial. [Geopend 31 maart 2016].
- [23] G. E. Drake, „Static mixing device”. Verenigde Staten Patent US4538920 A, 3 september 1985.
- [24] Sabic, „Geloy Resin HRA222F,” Sabic, 2016. [Online]. Available:
<https://www.sabic-ip.com/gepapp/eng/weather/weatherhtml?sltRegionList=1002002000&sltPrd=1002003006&sltGrd=1002040486&sltUnit=0&sltModule=DATASHEETS&sltVersion=Internet&sltType=Online>.
- [25] Sabic, „Sabic PP 58MNK10,” Sabic, [Online]. Available:
http://www.saypolymers.com/Products/PPC/PPC_Sabic_58MNK10.pdf.
- [26] i. The Fiber Optic Association, „Guide To Fiber Optics & Premises Cabling,” The Fiber Optic Association, inc, 1999-2014. [Online]. Available:
<http://www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html>.

- [27] „Timeline,” CommScope, [Online]. Available: <http://www.commscope.com/About-Us/Who-We-Are/Timeline/>. [Geopend 2015 november 18].
- [28] Google, „Google Maps,” Google, 2015. [Online]. Available: <https://www.google.iq/maps/>.
- [29] Loctite, „Xtrack,” [Online]. Available: http://www.xtrack.nl/published/publicdata/XTREND/attachments/SC/products_pictures/Locm31cl50ml_enl.jpg.
- [30] Amazon, „ChefLand Mop and Broom Holder / Hanger Rack,” [Online].
- [31] Domaine de la Blanchardière, „Activités et Loisirs,” [Online]. Available: <http://www.la-blanchardiere.com/249-activites-et-loisirs/284-le-circuit-des-24h-du-mans-stage-de-pilotage-et-circuit-karting.html>.
- [32] Bimed, „Double seal series metal cable glands,” [Online]. Available: <http://www.bimedtechnik.com/bimedtechnik/metaldserie.html>.
- [33] Best Herbal Health, „Onion - The King Of Vegetables,” [Online]. Available: <http://www.bestherbalhealth.com/onion-king-vegetables/>.
- [34] IHS Engineering 360, „Shrink Tubin Information,” [Online]. Available: http://www.globalspec.com/learnmore/electrical_electronic_components/wires_cables_accessories/heat_shrink.
- [35] Strijkijzersnoeren.nl, „Montage en onderdelen: Kroonsteen en lasklem,” [Online]. Available: <https://www.strijkijzersnoeren.nl/montage-onderdelen/kroonsteentjes-lasklemmen/>.
- [36] Dreamstime, „Stock Images,” [Online]. Available: <http://www.dreamstime.com/photos-images/metal-spring.html#details24906282>.
- [37] parduotuviuiranga, „Universalūs TOOLFLEX įrankių laikikliai,” [Online]. Available: <http://www.pardutuviuiranga.com/universalus-toolflex-irankiu-laikikliai>.
- [38] Wikipedia, „Snap Fit,” [Online]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Snap_fit.
- [39] Beading Daily, „The Dos and Dont's of Twisting Wire,” [Online]. Available: <http://www.beadindaily.com/blog/beading-daily/the-dos-and-donts-of-twisting-wire>.

- [40] Study.com, „Static Friction: Definition, Formula & Examples,” [Online]. Available: <http://study.com/academy/lesson/static-friction-definition-formula-examples.html>.
- [41] M. Ababa, „Cool tattoos: camera shutter,” [Online]. Available: <https://www.twelvesixteen.net/2011/08/10/classic-twelvesixteen/cool-tattoos-camera-shutter/>.
- [42] Thorne & Derrick, „Roxtec Cable Transits,” [Online]. Available: <http://www.cablejoints.co.uk/sub-product-details/cable-transits-roxtec>.
- [43] Wikipedia, „Hooke's Law,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Hooke%27s_law.
- [44] W. Marshall, „Wild Bills Last Stand,” [Online]. Available: <http://www.forgeoverland.com/new-blog/2015/7/12/hiqf12l2ynihd3gyi3owmsp6k4nqeb>.
- [45] C. E. H. II, „The Similarities Between Your Eye And A Camera,” [Online]. Available: <http://theodysseyonline.com/appalachian-state/6-similarities-eye-camera/366287>.
- [46] Tooflex, „Tooflex Original System,” [Online]. Available: <http://www.tooflex.com/original/sv/hem/>.
- [47] 3D Printer Blog, „Polyjet 3D Printing,” [Online]. Available: <http://3dprinterblog.net/polyjet-3d-printing/>.
- [48] i.materialise, „Polyamide/Technology,” Materialise, [Online]. Available: <https://i.materialise.com/3d-printing-materials/polyamide>.

8 Bijlagen

8.1 Hercorub EPDM 005K datasheet



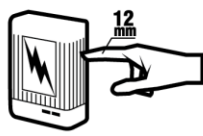

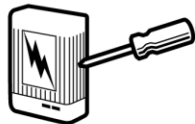

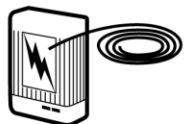

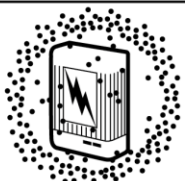





		MATERIAL CERTIFICATE	
EPDM- rubbercompound		Compoundcode:1E1026	
Date: 09/05/2016		By: Kris Metten	Print date: 5/06/2016
Mechanical properties		Specifications	Results
Hardness (°ShA)	ASTM D2240	50 ± 5	53
Tensile strength (MPa)	ASTM D412	Min. 13.8	14.5
Elongation (%)	ASTM D412	Min. 350	495.7
Tear Resistance (kN/m)	ASTM D624 Die C	Min. 35	39.4
Low temp. brittlenes	ASTM D2137 (5h / -55°C)	Pass	Pass
Compression Set (%)	ASTM D395 Method B (70h / 100°C)	max. 35	12
Ozone Resistance	ASTM D1171	No Cracks	No Cracks
Mechanical properties Air Oven Aging	ASTM D573 (70h / 125°C)		
Hardness Change (°ShA)	ASTM D2240	+10	+4
Tensile Change (%)	ASTM D412	max. -20	-11
Elongation Change (%)	ASTM D412	max. -25	-8
Surface Condition		No Cracks	No Cracks

The values in this product data sheet are given as an indication without implying and undertaking on our part.

Maximale gebruikstemperaturen	
Continu (°C)	80
Pieken (°C)	120

8.2 Kaart met IP-graden

IP (Ingress Protection) Ratings Guide

SOLIDS		WATER	
1	 <p>Protected against a solid object greater than 50 mm such as a hand.</p>	1	 <p>Protected against vertically falling drops of water. Limited ingress permitted.</p>
2	 <p>Protected against a solid object greater than 12.5 mm such as a finger.</p>	2	 <p>Protected against vertically falling drops of water with enclosure tilted up to 15 degrees from the vertical. Limited ingress permitted.</p>
3	 <p>Protected against a solid object greater than 2.5 mm such as a screwdriver.</p>	3	 <p>Protected against sprays of water up to 60 degrees from the vertical. Limited ingress permitted for three minutes.</p>
4	 <p>Protected against a solid object greater than 1 mm such as a wire.</p>	4	 <p>Protected against water splashed from all directions. Limited ingress permitted.</p>
5	 <p>Dust Protected. Limited ingress of dust permitted. Will not interfere with operation of the equipment. Two to eight hours.</p>	5	 <p>Protected against jets of water. Limited ingress permitted.</p>
6	 <p>Dust tight. No Ingress of dust. Two to eight hours.</p>	6	 <p>Water from heavy seas or water projected in powerful jets shall not enter the enclosure in harmful quantities.</p>
<p>Rating Example:</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; font-size: 2em; font-weight: bold;">IP65</div> <p>INGRESS PROTECTION</p>		7	 <p>Protection against the effects of immersion in water between 15 cm and 1 m for 30 minutes.</p>
		8	 <p>Protection against the effects of immersion in water under pressure for long periods.</p>



425 Sequoia Drive
Bellingham, WA 98226 USA
p 360.738.8230
p 800.222.7617
f 360.734.4195
www.blueseasystems.com

IPx5-testing

Elaboration on the procedure described in IEC 60529

1. PURPOSE

Testing of the protection against water, projected in jets against the enclosure from any direction as described in IEC 60529. Passing of the test means no water ingress or other harmful effects are observed. An enclosure that passes is IPx5.

2. SCOPE

Owned By:

Quality is owner of this procedure.

Performed By:

This procedure is to be performed by test technicians, test engineers and development engineers.

Applicable To:

This procedure applies to all IPx5-testing.

3. SAMPLES AND EQUIPMENT

Attention points:

- Follow standard safety rules and regulations.
- Check calibration date of equipment
- Assembly table
- Writing utensils:
 - pen (writing on paper)
 - water resistant marker (writing on samples)
- Sample(s)
- Camera
- Tools to (un)mount the sample(s)
- Tools to open and close the sample(s)
- Paper on roll
- Clock
- Tape measure
- Pneumatic rotatable
- Attachment panel (wall mount) or pole (pole mount)



4. PROCEDURE

Reference documents: IEC 60529 edition 2.2 (2013-08): 1989 + A1:199 + A2:2013

1. Preparation

0: At least 4 hours before starting the test, the test basin should be filled to the marking, so the water temperature during the test will be within 5°C of room temperature, which should itself be within 25°C±10°C according to IEC 60529.

1: Mount the DUT on the attachment panel:

1.1: For wall-mountings: attach the DUT to the mounting plate.

1.2: For pole-mountings: attach the mounting plate to the pole first, then attach the DUT to the mounting plate.

2: Place the rotatable at the correct position in the basin, then place the jet at the white tape mark in front of the basin.

Verify the distance between the jet stand and the DUT (2,5m - 3m) with the tape measure.

2.1: For wall-mountings: use the rotatable with an attachment panel. Activate the sweeping function and make sure the DUT can be sprayed on all sides.

2.2: For pole-mountings: use the rotatable with the pole and mounting plate

3: Aim the jet into the basin but not on the sample and fix the position. Make sure valve 1 (see figure) is closed.

4: Activate the pump and set power to 2nd level



*Pump on 2nd power level for IPx5-testing
(results in 12,5 l/min ± 5%)*

5: Plug in the rotatable.

2. Test

6: Open valve 1 and spray into the basin but not on the sample.

7: Before start test: make sure water flow is between 12l/min and 13l/min (in IEC 60529: 12,5l/min \pm 5%) via the flow meter (see figure).

8: Aim the jet onto the sample and start the clock for 3 minutes (for objects with sum of surface area to be sprayed < 3m²).

9: Continuously move the jet up and down, spraying on the DUT and for wall-mounting also on the attachment panel right next to the DUT. Make sure the top of the sample is hit every sweep of the jet. Maintain **5 - 10 seconds per sweep** (up and down).

10: After 3 minutes (for objects with sum of surface area to be sprayed < 3m²), close valve 1.

11: Unplug the rotatable.

12: Dry the outside of the DUT very well.

3. Observation

13: Open the sample making sure no water comes in from the outside surfaces.

14: Inspect the inside of the DUT and mark where water ingress is observed.

15: Dry the DUT if necessary and unmount it.

If more samples are to be tested, return to step 1 (step 4 can be omitted).

5. REPORTING

Report results of the test, including pictures. Clearly label the tested samples and reference them in the report.

Passing of the test means no water ingress or other harmful effects are observed.



Flow meter

8.4 Patent statische mixer

U.S. Patent Sep. 3, 1985

Sheet 2 of 3

4,538,920

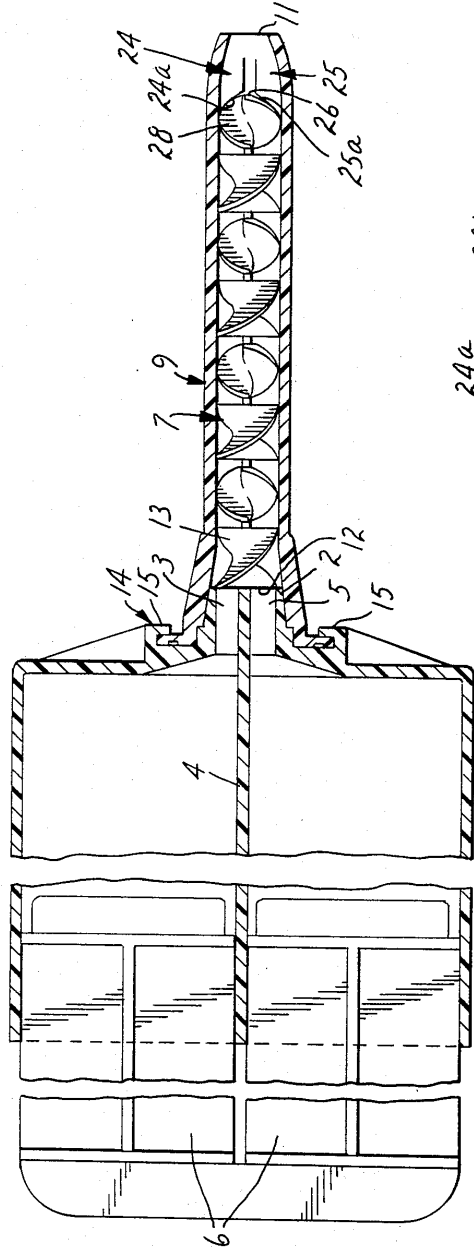


FIG. 2

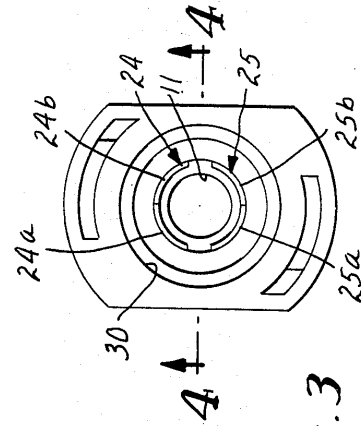


FIG. 3

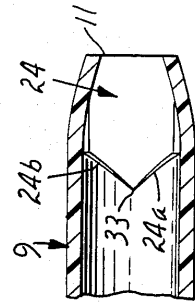


FIG. 4

[23]

8.5 Datasheet Polymeer: Sabic Gelyo HRF 222



GELOY™ Resin HRA222F

[SI](#)

[British](#)

[Metric](#)

[PDF](#)

Americas: COMMERCIAL

PC/ASA flame retardant, excellent weatherability.

Property

TYPICAL PROPERTIES ⁽¹⁾			
	Value	Unit	Standard
MECHANICAL			
Tensile Stress, yld, Type I, 50 mm/min	640	kgf/cm ²	ASTM D 638
Tensile Stress, brk, Type I, 50 mm/min	570	kgf/cm ²	ASTM D 638
Tensile Stress, yld, Type I, 5 mm/min	600	kgf/cm ²	ASTM D 638
Tensile Stress, brk, Type I, 5 mm/min	670	kgf/cm ²	ASTM D 638
Tensile Strain, yld, Type I, 50 mm/min	4.3	%	ASTM D 638
Tensile Strain, brk, Type I, 50 mm/min	>100	%	ASTM D 638
Tensile Strain, yld, Type I, 5 mm/min	4.2	%	ASTM D 638
Tensile Strain, brk, Type I, 5 mm/min	>100	%	ASTM D 638
Tensile Modulus, 5 mm/min	26400	kgf/cm ²	ASTM D 638
Tensile Stress, yield, 5 mm/min	62	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 5 mm/min	51	MPa	ISO 527
Tensile Stress, yield, 50 mm/min	60	MPa	ISO 527
Tensile Stress, break, 50 mm/min	45	MPa	ISO 527
Tensile Strain, yield, 5 mm/min	4.3	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 5 mm/min	>50	%	ISO 527
Tensile Strain, yield, 50 mm/min	4.4	%	ISO 527
Tensile Strain, break, 50 mm/min	>50	%	ISO 527
Tensile Modulus, 1 mm/min	2520	MPa	ISO 527
Flexural Stress, yield, 2 mm/min	93	MPa	ISO 178
Flexural Modulus, 2 mm/min	2510	MPa	ISO 178
IMPACT			
Izod Impact, notched, 23°C	39	cm-kgf/cm	ASTM D 256
Izod Impact, notched, 0°C	29	cm-kgf/cm	ASTM D 256
Izod Impact, notched 80*10*4 +23°C	17	kJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80*10*4 0°C	12	kJ/m ²	ISO 180/1A
Izod Impact, notched 80*10*4 -30°C	9	kJ/m ²	ISO 180/1A
Charpy 23°C, V-notch Edgew 80*10*4 sp=62mm	15	kJ/m ²	ISO 179/1eA
THERMAL			
CTE, -30°C to 80°C, flow	6.9E-05	1/°C	ISO 11359-2
CTE, -30°C to 80°C, xflow	7.1E-05	1/°C	ISO 11359-2
CTE, 23°C to 80°C, xflow	7.5E-05	1/°C	ISO 11359-2
Ball Pressure Test, 75°C +/- 2°C	PASSES	-	IEC 60695-10-2
Vicat Softening Temp, Rate A/50	111	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/50	102	°C	ISO 306
Vicat Softening Temp, Rate B/120	104	°C	ISO 306
HDT/Be, 0.45MPa Edgew 120*10*4 sp=100mm	99	°C	ISO 75/Be
HDT/Ae, 1.8 MPa Edgew 120*10*4 sp=100mm	88	°C	ISO 75/Ae
Relative Temp Index, Elec	90	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/impact	90	°C	UL 746B
Relative Temp Index, Mech w/o impact	90	°C	UL 746B
PHYSICAL			
Mold Shrinkage on Tensile Bar, flow (2) (5)	0.4 - 0.6	%	SABIC Method
Density	1.17	g/cm ³	ISO 1183
Water Absorption, (23°C/5at)	0.6	%	ISO 62
Moisture Absorption (23°C / 50% RH)	0.2	%	ISO 62
Melt Volume Rate, MVR at 260°C/2.16 kg	13	cm ³ /10 min	ISO 1133
ELECTRICAL			
Comparative Tracking Index (UL) (PLC)	0	PLC Code	UL 746A
Comparative Tracking Index	600	V	IEC 60112
FLAME CHARACTERISTICS			
UL Recognized, 94V-0 Flame Class Rating (3)	2	mm	UL 94
Oxygen Index (LOI)	29	%	ISO 4589
UV-light, water exposure/immersion	F1	-	UL 746C

Source GMD, last updated:2016/03/31

Processing

Parameter	Value	Unit
Injection Molding		
Drying Temperature	80 - 90	°C
Drying Time	2 - 4	hrs
Maximum Moisture Content	0.02	%
Melt Temperature	230 - 270	°C
Nozzle Temperature	220 - 260	°C
Front - Zone 3 Temperature	230 - 270	°C
Middle - Zone 2 Temperature	220 - 260	°C
Rear - Zone 1 Temperature	200 - 230	°C
Hopper Temperature	60 - 80	°C
Mold Temperature	50 - 70	°C

Source GMD, last updated:2016/03/31

8.6 Sabic PP58 MNK 10



SABIC® PP 58MNK10

PP block copolymer for Injection moulding

Description:

This grade combines an excellent stiffness with very good impact strength. It has a narrow molecular weight distribution and a very low tendency to warp. The easy flow, in combination with the high crystallisation temperature enables outstanding processability aimed at easy mould filling and short cycle-times. Due to the mentioned performance this grade is very suitable for usage in several kinds of containers. The excellent high gloss level makes this materials also favourable for household applications.

Health, Safety and Food Contact regulations:

Material Safety Data Sheets (MSDS) and Product Safety declarations are available on our Internet site <http://www.SABIC-europe.com>

Typical values Revision 20070321

Properties	Unit (Si)	Values	Test methods
Polymer properties			
Melt flow rate (MFR)			ISO 1133
at 230 °C and 2.16 kg	g/10 min	15	
Density	kg/m ³	905	ISO 1183
Mechanical properties			
Tensile test			ISO 527
stress at yield	MPa	29	
stress at break	MPa	19	
strain at break	%	200	
Flexural test			ASTM D 790
Flexural modulus	MPa	1650	
Izod impact notched			ISO 180/4A
at 23 °C	kJ/m ²	10	
at 0 °C	kJ/m ²	5.7	
at -20 °C	kJ/m ²	4.5	
Charpy impact notched			ISO 179
at 23 °C	kJ/m ²	7.5	
at 0 °C	kJ/m ²	5.0	
at -20 °C	kJ/m ²	4.0	
Hardness Shore D	-	69	ISO 868
Thermal properties			
Heat deflection temperature at 1.80 MPa (HDT/A)	°C	54	ISO 75/A
at 0.45 MPa (HDT/B)	°C	102	ISO 75/B
Vicat softening temperature at 10 N (VST/A)	°C	147	ISO 306/A
at 50 N (VST/B)	°C	71	ISO 306/B

All information supplied by or on behalf of any of the SABIC Europe companies in relation to its products, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and believed reliable, but the relevant SABIC Europe company assumes no liability whatsoever in respect of application, processing or use made of the afore-mentioned information or products, or any consequence thereof. The user undertakes all liability in respect of the application, processing or use of the afore-mentioned information or product, whose quality and other properties he shall verify, or any consequence thereof. No liability whatsoever shall attach to any of the SABIC Europe companies for any infringement of the rights owned or controlled by a third party in intellectual, industrial or other property by reason of the application, processing or use of the afore-mentioned information or products by the user.

[25]

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Ontwikkeling van een modulair systeem dat het fixeren en afdichten van glasvezelkabels combineert

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**

Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Hendrickx, Koen

Datum: **5/06/2016**