

UNIVERSITEIT TWENTE.

Onderzoek naar toepassing van PVC als verpakkingsmateriaal

Uitgevoerd door Universiteit Twente

Leerstoel Packaging Design and Management

In opdracht van het Kennisinstituut Duurzaam Verpakken

1 oktober 2013

Onderzoek naar toepassing van PVC als verpakkingsmateriaal

Samenvatting

PVC als verpakkingsmateriaal kent een aantal specifieke eigenschappen die het materiaal geschikt maken voor het verpakken van veel producten. Het sealgedrag, de mogelijkheid om het materiaal te thermovormen, de doorlatendheid voor gassen en vocht, zijn hier voorbeelden van. PVC is een goedkoop materiaal; andere oplossingen zijn meestal duurder. Voor het gebruik van PVC kunnen twee toepassingsgebieden onderscheiden worden: plain (100% PVC) en als coating of liner al dan niet gemengd met een ander materiaal. Voor toepassing van PVC plain geldt dat de eigenschappen van PVC inmiddels ook te bereiken zijn met andere materialen. Het gebruik van PVC voor deze toepassingen kan vervangen worden door andere materialen. Bij toepassing van PVC in of als een coating of liner is er een technische oplossing voorhanden indien de producenten van metaalverpakkingen gaan werken met 'polymer coated steel', staal dat door de metaalproducent voorzien is van een kunststof coating. Voor zover bekend is dit materiaal geschikt voor het verpakken van alle producten waar nu nog PVC coatings voor toegepast worden. Indien de producent van metaalverpakkingen de coating zelf wil aanbrengen dan zijn er nog productgroepen zoals (vette) vis waarvoor nog geen uniforme oplossing voorhanden is, dat wil zeggen geschikt of geschikt verklaard voor alle vissoorten. Onderzoek op dit terrein loopt. Naast PVC worden epoxy- en fenolcoatings toegepast die door de producenten van metaalverpakkingen zelf worden aangebracht.

Dit onderzoek kan niet uitsluiten dat er specifieke toepassingen zijn die niet gevonden zijn, waarvoor PVC als enige materiaal de oplossing is.

PVC als verpakkingsmateriaal wordt in Denemarken en Zweden ontmoedigd, in Slowakije wordt het gebruik uitgefaseerd en in Zwitserland moet een afdracht gedaan worden voor het gebruik als disposable. In andere landen zijn geen beperkingen voor gebruik van PVC als verpakkingsmateriaal.

1. Aanleiding

Het Kennisinstituut Duurzaam Verpakken geeft uitvoering aan afspraken die zijn vastgelegd in de Raamovereenkomst Verpakkingen en de verduurzamingsagenda voor verpakkingen met betrekking tot het gebruik van PVC in het winkelkanaal.

De vraag betreft twee aspecten:

- Waar is het functioneel noodzakelijk dat PVC toegepast wordt en is vervanging door een ander materiaal met dezelfde functionaliteit niet mogelijk?
- Om de reikwijdte te bepalen van de eerste vraag is er behoefte aan het verkrijgen van een beeld van de huidige situatie van het daadwerkelijk gebruik van PVC in de retail¹. Deze vraag hoeft niet uitputtend te worden beantwoord, het gaat om een indicatie.

¹ Als retail worden de leden van het Centraal Bureau Levensmiddelen gezien.

2. Het materiaal PVC

Polyvinylchloride (PVC) is het materiaal met de grootste omzet van de materialen die gewoonlijk worden aangeduid als de 'vinyl'groep. De materialen kenmerken zich door de vinyl radicaal

($\text{CH}_2=\text{CH}-$) of de vinylideen radicaal ($\text{CH}_2=\text{CR}-$). Onder deze veelzijdige groep materialen behoren polyvinylacetaat, polyvinylchloride, polyvinylideenchloride, polyvinylalcohol, polyvinylfluoride, polyvinulideendifluoride en polyvinylbutyral.

Van deze materialen is PVC uitgegroeid tot de meest toegepaste omdat de eigenschappen voor veel toepassingen gunstig zijn en met weekmakers en stabilisatoren goed te sturen zijn. Het is een materiaal dat zeer uiteenlopende eigenschappen kan hebben, van zeer zacht en elastisch tot zeer hard, bros en transparant. Toepassing heeft vooral plaatsgevonden voor pijpleidingen, bekleding van elektriciteitskabels, kunststof pasjes zoals credit cards en lidmaatschapspassen e.d., zakken voor infuusvloeistof, (kinder)laarzen, speelgoed maar ook als verpakking zoals flessen, folies, tubes en zogenaamde blisters waarmee verpakkingen worden bedoeld die zijn gemaakt met thermovormen.

Cijfers over het gebruik als verpakkingsmateriaal zijn niet altijd eenduidig. Toepassing voor flessen en folies wordt gezien als het grootste toepassingsgebied, daarnaast als coating, o.a. voor metalen verpakkingen en als liner in metalen doppen. Verdeling naar de markt levert de volgende cijfers: voedingsmiddelen 30%, farmaceutisch 30%, cosmetica en non-food 20% en bundelen en secundair verpakken 20%. In Nederland is het gebruik van PVC sterk teruggedrongen sinds de begin jaren negentig van de vorige eeuw doordat milieubewegingen hier zwaar op ingezet hebben.

Binnen de verpakkingstoepassingen is PVC geen grote speler. Polyetheen (PE) en polypropeen (PP) bepalen samen 80% van het totaal van kunststoffen dat wordt toegepast voor verpakkingen. Daarna volgen PET en PS. Voor PVC gaat het naar schatting om enkele procenten van het totaal.

PVC als verpakkingsmateriaal wordt ontmoedigd in Denemarken. Sommige retailers in Denemarken weigeren producten verpakt in PVC. In Slowakije moeten verpakkingen met PVC uitgefaseerd worden sinds acceptatie van de laatste regelgeving in 2009. In Zweden wordt het gebruik van PVC ontmoedigd. In Zwitserland moeten een afdracht plaatsvinden voor PVC disposables. In andere Europese landen wordt PVC op grotere schaal toegepast.

3. Specifieke eigenschappen

Er zijn eigenschappen van PVC die specifiek zijn voor het materiaal PVC. Deze zijn: de permeabiliteit, het sealgedrag, de cling, het thermovormen, de krimp van verstrekt materiaal, de toepassing als coating of liner. PVC wordt nog toegepast in de farmaceutische industrie. Hier wordt in het kort aandacht aan besteed.

De eigenschappen worden hierna verder uitgewerkt. Er is ook aangegeven of er andere materialen zijn met dezelfde eigenschappen.

3.1 Gassen doorlaten: permeabiliteit

Iedere kunststof laat gassen en vocht door in meerdere of mindere mate: de permeabiliteit van een kunststof. Deze eigenschap is van groot belang voor de houdbaarheid van vooral verse levensmiddelen. Zuurstof heeft de grootste invloed op kwaliteitsverlies van levensmiddelen en vocht zit daar niet ver achter. Veel kunststof folies worden samengesteld of gekozen op basis van deze permeabiliteiteigenschappen. In de literatuur zijn algemeen geldende overzichten te vinden met kwantitatieve gegevens. In de meeste gevallen worden de gegevens vermeld voor zuurstof (oxygen transmission rate, OTR) en vocht (water vapour permeability, WVP). De gegevens worden vermeld in cc (zuurstof) of g (vocht) per vierkante meter per dag bij een bepaalde temperatuur en relatieve luchtvochtigheid, onder bepaalde drukomstandigheden. Sommige bronnen vermelden ook de doorlatendheid van de materialen voor stikstof, koolzuur en soms voor vluchtige oplosbare stoffen. PVC folie kenmerkt zich doordat het niet zo veel zuurstof doorlaat maar wel een redelijke hoeveelheid vocht. Veel kunststoffen laten juist weinig vocht door. Deze specifieke eigenschap maakt het materiaal geschikt voor producten die een geringe mate van zuurstof nodig hebben en die vocht afvoeren of moeten afvoeren om kwaliteitsverminderende processen zoals rotting te voorkomen. PVC folie kent daarom toepassing voor het verpakken van bepaalde groenten. Van broccoli is bekend dat de houdbaarheid bij bepaalde temperatuur verlengd wordt door gebruik van PVC, doordat het binnenklimaat van de verpakking de bloei van de groente uitstelt.

De techniek voor het maken en bewerken van kunststoffen ontwikkelt zich continu; het is een zeer innovatieve sector. Het produceren van kunststoffen wordt in het Engels aangeduid als 'tailoring the molecules': op basis van functie wordt een materiaal gemaakt.

De specifieke eigenschappen van PVC kunnen (inmiddels) ook met andere materialen bereikt worden, zoals PE folies met microperforaties.

3.2 Sealen van kunststoffen

Veel flexibele of semi-rigide kunststoffen worden geseald met behulp van warmte. Met (een of meestal) twee zogenaamde sealbeitels die verhit worden, worden twee lagen folie tegen elkaar gedruwd die op het raakvlak met elkaar versmelten. Parameters die ingesteld kunnen worden bij sealen zijn tijd, druk en temperatuur. De sealtijd is meestal een fractie van een seconde. PVC heeft een zeer gunstige 'seal window', dat wil zeggen dat de tijd, druk en temperatuur sterk kunnen variëren om nog steeds een goed resultaat te bereiken. Vanwege deze eigenschappen is PVC zeer veel gebruikt als folie. Voor levensmiddelen is het toepassen van PVC sterk verminderd en is bi-oriented polypropene (BOPP) de vervanger geworden.

Veel processen hangen met elkaar samen. Als een materiaal een breed seal window heeft, hebben de machines geen fijnafstelling nodig. Een overstap naar een materiaal dat een smallere window heeft betekent dan ook vaak dat er geïnvesteerd moet worden in de machine omdat de oude machines de fijnafstellingen niet hebben.

Er zijn verschillende verpakkingen die voorzien worden van coatings (zie ook verder). Een PVC coating op een aluminium cup maakt de cup goed sealbaar met een aluminiumfolie waarop ook een PVC coating is aangebracht. Ook hier geldt dat PVC gunstige eigenschappen heeft en een breed seal

window kent. Er zijn echter coatings ontwikkeld die niet gebaseerd zijn op PVC en die goed te verwerken zijn, zoals cast-polypropreen (CPP). Deze is ook toepasbaar voor verpakkingen die na afvullen gesteriliseerd worden.

3.3 Cling verzorgen

'Cling' wordt de eigenschap genoemd om de kleefkracht van een folie aan zichzelf te waarderen. PVC heeft een goede cling. Bij wikkelen en handverpakken en ook bij het inwikkelen van pallets met folie is dit een zeer handige eigenschap. Met andere folies dan PVC kan (inmiddels) hetzelfde resultaat bereikt worden (bijvoorbeeld met folie op basis van polyvinylacetaat (PVAc) en met lineaire lage dichtheid polyetheen (LLDPE)).

3.4 Thermovormen

Bij thermovormen wordt een kunststof folie verwarmd, ingeklemd en een matris ingezogen of over een product heen gezogen. Een betere materiaalverdeling of een betere verwerking wordt bereikt met technieken zoals de folie vooraf bol blazen of de folie met plunjers aanduwen. PVC heeft zeer gunstige eigenschappen voor thermovormen. De verwerkingstemperatuur is laag en kent een breed bereik. De verpakkingen zijn vaak zeer helder. PVC houdt de vorm goed vast, heeft een hoge slagsterkte (ook in koude omstandigheden), heeft een hoge transparantie (vaak ook met toevoeging van acrylaten). PVC wordt veel toegepast in doordruk blisters voor medicijnen (met PVC gecoat aluminium rugfolie) en blisterkaarten (bevestigd op karton met een PVC coating).

Veel thermovorm verpakkingen kunnen ook met andere materialen zoals A-PET, PS of PC geproduceerd worden.

Het wijzigen van een medicijnverpakking is lastig omdat het medicijn is geregistreerd samen de verpakking. Wijziging hiervan betekent dat de registratieprocedure opnieuw doorlopen moet worden (zie ook 3.7).

3.5 Krimpen

Een verstrekte kunststof die afgekoeld wordt, krimpt terug na verhitting. Krimpfolies zijn gebaseerd op deze eigenschap. Voor de verschillende toepassingen van PVC als krimpfolie of krimp sleeve bestaan andere oplossingen. Lage dichtheid polyetheen (LDPE) kan gebruikt worden als krimpfolie en krimp sleeves kunnen gemaakt worden van polyetheen terephthalaat (PET), polystyreen (PS) of polylactide (PLA).

3.6 Toepassen als coating of liner voor metalen verpakkingen en sluitingen

Coatings

PVC laat zich goed verwerken als coating of liner. Soms als 100% PVC, soms als zogenaamde organisol of plastisol waarbij het materiaal gemengd is met een ander materiaal. Een coating of liner wordt vloeibaar aangebracht op een oppervlak of in een rand. PVC heeft zeer goed afdichtende eigenschappen (het laat zich goed verdelen over het oppervlak) en is elastisch (als het metaal vervormt door stoten dan blijft de coating intact). Vanwege deze eigenschappen wordt het materiaal veel toegepast voor bescherm- en/of afdichtingslaag van metalen verpakkingen zoals blikken,

bussen, vaten en sluitingen. De coatings moeten in veel gevallen geschikt zijn voor pasteurisatie (hot fill) en sterilisatie. Het totaal volume van PVC verwerkt op deze wijze is relatief gezien niet erg hoog. PVC wordt daar gebruikt waar nog geen andere oplossing voorhanden is zoals bij het verpakken van (vette) vis. De metalen verpakkingen van andere producten zoals groenten hebben coatings van andere materialen zoals epoxy en fenol, geen PVC.

Veel coatings, voor zover bekend alle, zijn te vervangen door staal dat door de staalproducent van een kunststof is voorzien (polymer coated steel). Deze kunststof is een thermoplast zoals polypropreen (PP) of polyetheenterephtalaat (PET). Deze oplossing is voor een producent die zelf coatings aanbrengt duurder en leidt tot een desinvestering van apparatuur. Er wordt daarom door de producenten van metalen kleinverpakkingen gezocht naar coatings ter vervanging van PVC die zelf aangebracht kunnen worden. Deze zoektocht wordt mede gestuurd naar aanleiding van voedselveiligheidsproblemen. Uit sommige coatings migreren namelijk stoffen die ter discussie staan. De coatings voldoen overigens aan migratienormen voor gezondheid. Voor acceptatie van een nieuwe coating moet ieder product apart getest worden omdat bijvoorbeeld specifieke vetzuren aanwezig kunnen zijn die niet samengaan met de coating. Naar zeggen is een uniforme oplossing voor het vervangen van PVC als coating nog niet mogelijk. Dit kan duiden op verschillende zaken, namelijk dat nog niet alles onderzocht is, dat de kosten nog te hoog zijn, dat er oplossingen zijn voor verschillende producten maar dat meerdere materialen ingezet moeten worden. De industrie en toeleveranciers zijn hier niet duidelijk over. Het kan ook en, en, en zijn.

Het werken met andere coatings kan betekenen dat geïnvesteerd moet worden in verwerkingsapparatuur. Deze sector is erg kapitaalsintensief. Dit kan introductie van nieuwe coatings belemmeren. Innovaties vinden continu plaats maar in relatief kleine stappen.

Liners

In de industrie lopen verschillende projecten om liners in metalen verpakking te vervangen door PVC-vrije materialen. Nog niet overal zijn oplossingen voorhanden die dezelfde eigenschappen hebben en naar zeggen zijn nog niet alle producten getest. Afdraai kroonkurken (twist off crown corks) hebben nog een PVC coating omdat de afdraaiwaarde anders zo hoog wordt dat deze niet met de hand af te draaien zijn. Zo zijn er ongetwijfeld meer zeer specifieke toepassingen te vinden waarvoor dit geldt. Overigens wordt ook van de toepassing van PVC in twist off crown corks gezegd dat er een alternatieve oplossing is.

PVdC is een materiaal dat een goede zuurstofbarrière heeft en dat goed te sealen is. Het materiaal bevat twee maal zoveel chloor als PVC. Het wordt alleen als coating gebruikt voor folies en in het verleden ook voor rigide of semi-rigide producten zoals flessen. Er zijn andere coatings en andere materialen met goede zuurstofbarrières verkrijgbaar. Niet altijd als coating maar voor de gekozen materiaalcombinaties bestaan meestal andere oplossingen. Een specifieke eigenschap van PVdC is de lage wrijvingscoëfficiënt waardoor het gebruikt wordt voor het coaten van vrij stijve folies die over een vormschouder van een verticale vorm-vul-sluit machine getrokken moet worden of voor folies die met hoge snelheid verwerkt worden. Dit materiaal wordt zelden genoemd maar wordt nog steeds toegepast. Het zou correcter zijn dit materiaal mee te nemen.

3.7 Gebruiken voor medicijnverpakkingen

In de farmaceutische industrie is PVC veel toegepast. Vanwege de registratie van het wordt een verpakking meestal niet gewijzigd. De farmaceutische industrie is zelf actief om PVC in nieuwe verpakkingen niet meer toe te passen. Of dit daadwerkelijk leidt tot vermindering van PVC gebruik is niet bekend. De sector is niet erg transparant. De totale hoeveelheid PVC wordt geschat op 20%. Een groot aandeel hiervan zit in het gebruik van infuuszakken. Voor infuuszakken bestaan andere oplossingen. Hierover is recent gepubliceerd wat indiceert dat de oplossing nog niet algemeen aanvaard is. Overleg met deze goed gereguleerde en specifieke sector over de aanpak tot uitfasering van PVC kan een juiste benadering zijn. In de retail beperken de verpakkingen zich tot de vrij verkrijgbare geneesmiddelen.

4. Bepalen reikwijdte van toepassing van PVC in de winkel

Bezoek aan winkels geeft inzicht in toepassing van PVC. Een andere bron om inzicht te verkrijgen in de toepassing van PVC is het onderzoek naar de samenstelling van kunststof afval om te bepalen in hoeverre afval te recycleren valt dat wordt uitgevoerd in Wageningen. Bij dit onderzoek wordt ook veelvuldig PVC aangetroffen.

Folie

Dikwandige PVC folies worden gebruikt voor het verpakken van slaapkamer artikelen zoals kussens, dekbedden, lakens, e.d. Ook voor verpakkingen van kleding zoals overhemden, onderbroeken, aanbiedingen voor pakketten van sokken, etc. wordt PVC folie toegepast.

Dikwandige folie wordt ook gerild en gevouwen en verlijmd tot rechthoekige kokers. Toepassingen zijn verpakkingen voor raamdecoratie zoals rolgordijnen, horizontale en verticale lamellen.

Deze meeste van deze producten worden geïmporteerd.

Rekwikkelfolie

PVC wordt gebruikt als rekwikkelfolie.

Thermovorm verpakkingen

Veel rigide producten die beschermd moeten worden tegen allerlei mogelijke belastingen worden verpakt in thermovorm interieurs. Deze interieurs zitten vaak in een kartonnen doos of wikkel. Voorbeelden zijn badkameraccessoires, speelgoed, computer muis, etc. Bijna al deze producten worden geïmporteerd vanuit Azië.

Krimpsleeve

PVC wordt gebruikt als krimpsleeve om kunststof en glazen flessen.

5. Conclusies

PVC kan op twee wijzen toegepast worden: plain, dat wil zeggen niet gemengd met een ander materiaal en niet voor een coating of liner; of als gebruik als coating of liner, eventueel gemengd (blend) met een ander materiaal.

Voor plain gebruik van PVC zijn er geen technische of functionele gronden te vinden om PVC als verpakkingsmateriaal te handhaven. Voor alle gevonden toepassingen bestaan gelijkwaardige functionele oplossingen. Een overgang naar een ander materiaal heeft geen invloed op productverlies. Een overstap naar een ander materiaal brengt meestal kosten met zich mee.

Als coating en liner wordt PVC nog functioneel toegepast bij metalen verpakkingen (vaten, metalen bussen en sluitingen). Er wordt bij de producenten gewerkt aan nieuwe coatings, mede naar aanleiding van vragen op het terrein van voedselveiligheid. Voor sommige van deze toepassingen is nu nog geen gelijkwaardig alternatief voorhanden, dat wil zeggen een uniforme coating (dus geschikt voor een grote groep producten) die door het bedrijf zelf aangebracht kan worden. Met polymer coated steel kunnen voor zover bekend alle coatings vervangen worden maar voor de metaalverpakking producerende bedrijven is dit duurder en het betekent een desinvestering van apparatuur. De bedrijven moeten een activiteit inkopen die ze anders zelf uitvoeren. De sector van metaalverpakking producerende bedrijven is kapitaalsintensief waardoor innovaties in kleine stapjes worden uitgevoerd.

De farmaceutische sector gebruikt nog wel veel PVC. Dit heeft te maken met wettelijke registratie van medicijnen waarbij het medicijn inclusief de verpakking wordt vastgelegd. Alle testen voor houdbaarheid zijn met de verpakking uitgevoerd en het wijzigen hiervan kost veel tijd en onderzoek. Bij nieuwe verpakkingontwikkeling van medicijnen is de strategie bij de meeste (wellicht alle) bedrijven dat er geen PVC meer ingezet wordt.

PVC wordt als verpakkingsmateriaal nog steeds gebruikt. Voorbeelden van toepassing van folie zijn verpakkingen voor kussens en dekbedden en voorbeelden van (semi-)rigide toepassingen zijn thermovorm verpakkingen voor badkameraccessoires en speelgoed en verpakkingen voor producten zoals rolgordijnen.

Alleen in Slowakije wordt PVC uitgefaseerd. In Denemarken en Zweden wordt het materiaal ontmoedigd. In de meeste landen ter wereld bestaat er geen bezwaar tegen het gebruik van PVC als verpakkingsmateriaal.

Lijst met producten waar PVC functioneel aanwezig is:

- Coatings en liners van of met PVC voor metalen verpakkingen (bussen en sluitingen etc.) waar aantoonbaar bewezen kan worden dat een alternatief niet goed functioneert. Voor alle producten waar nu PVC gebruikt wordt bestaan andere technische oplossingen (andere coating of polymer coated steel), met die opmerking dat de coatings misschien niet altijd uniform toepasbaar zijn (dus voor alle producten) en ook niet altijd in het eigen bedrijf te verwerken zijn. Het onderzoek kan niet uitsluiten dat er zeer specifieke toepassingen zijn waarvoor geen alternatieve oplossing aanwezig is.
- Verpakkingen voor medicijnen waarbij PVC in de registratie is opgenomen.
- Voor plain gebruik kan alle PVC vervangen worden door andere materialen.

6. Rechtvaardiging van het onderzoek

Het onderzoek is uitgevoerd aan de hand van een literatuurstudie met hulp van een student, bezoek aan winkels en overleg met verpakkingskundigen en experts uit het veld, werkzaam bij afvullers/verpakkers, verpakkings- en verpakkingsmateriaalproducenten. Wetenschappelijke publicaties op dit terrein zijn beperkt. Het meeste onderzoek wordt door en bij bedrijven uitgevoerd.

Deze beperkte studie kan niet uitsluiten dat er toepassingen zijn waar PVC het enige materiaal is dat de gevraagde functionaliteiten kan bieden. Gezien de innovatiekracht binnen de kunststofindustrie kan echter wel gesteld worden dat het zeer uitzonderlijk zou zijn indien voor de bewuste toepassing geen andere oplossing gevonden zou kunnen worden. Het uitgangspunt van de studie is de technische haalbaarheid van de toepassing geweest, niet een economische (of andere) haalbaarheid.

Prof. dr. ir. Roland ten Klooster, Universiteit Twente, 7 oktober 2013

Bijlage 1 - Referenties

- [1] Wiley, J., 2009, "The Wiley Encyclopedia of Packaging Technology", Hoboken : John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Fugit, J.-L. & Taverdet, J.-L., 2000, "Decreasing Pollution of Plasticized PVC Packaging: A Comparison of Three Plastic Treatments"
- [3] Steenwijk, J. et al., 2005, "Long-term heat stabilisation by (natural) polyols in heavy metal- and zinc-free poly(vinyl chloride)", doi:10.1016/j.polymdegradstab.2005.04.027
- [4] Leadbitter, J., 2002, "PVC and sustainability", PII: S0079-6700(02)00038-2, Elsevier Science Ltd.
- [5] Marcella, F. et al., 2012, "Di-(2-ethylhexyl)-phthalate migration from irradiated poly(vinyl chloride) blood bags for graft-vs-host disease prevention", doi:10.1016/j.ijpharm.2012.03.039
- [6] Klooster, R. ten, et al., 2008, "Zakboek verpakkingen", Doetinchem, Reed Business
- [7] Marsh, K. and Bugusu, B., 2007, "Food Packaging—Roles, Materials, and Environmental Issues" doi: 10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x
- [8] Bordex Packaging, stretchfolie, opgevraagd op 29 juli 2013, van: http://www.bordexpackaging.nl/nl/producten/15-Stretchfolie_rekfolies_groenten_vis_vlees_PVC_film_schalen_folie_Elite_SPM
- [9] Pearson, R.B., 1982, "PVC as a food packaging material", Food Chemistry 8 85-96
- [10] Mc Millin, K.W., 2008, "Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat" doi:10.1016/j.meatsci.2008.05.028
- [11] Petersen, J.H. & Naamansen, E.T., 1998, "DEHA-plasticized PVC for retail packaging of fresh meat" Springer-Verlag
- [12] Van Vliet Trading BV, PVC verpakkingen, opgevraagd op 29 juli 2013, van: <http://www.vvt.nl/vvt/producten/pvc-verpakkingen.html>
- [13] Dumaplast, voordelen van pvc, opgevraagd op 5 augustus 2013, van: <http://www.dumaplast.be/nl/over-dumaplast/milieu/voordelen-van-pvc/>
- [14] Promolding BV, PVC, opgevraagd op 5 augustus 2013, van: <http://promolding.nl/materiaal-munt.php?lan=nl&c=114>
- [15] Allinson, J.G. et al., 2001, "The effects of packaging on the stability of a moisture sensitive compound", www.elsevier.com/locate/ijpharm

- [16] Pereira, L.M. et al., 2004, "Influence of Modified Atmosphere Packaging and Osmotic Dehydration on the Quality Maintenance of Minimally Processed Guavas", Institute of Food Technologists
- [17] Petersen, J.H. et al., 2004, "Evaluation of Retail Fresh Meat Packagings Covered with Stretch Films of Plasticized PVC and non-PVC Alternatives"
- [18] Ducruet, V. et al., 2007, " Sorption of aroma compounds in PET and PVC during the storage of a strawberry syrup, Food Additives and Contaminants", 24:11, 1306-1317, doi:10.1080/02652030701361283
- [19] CES EduPack, 2012
- [20] Braun, D., 2002, "Recycling of PVC", PII: S0079-6700(02)00036-9, Elsevier Science Ltd.
- [21] Arvanitoyannis, I.S. & Stratakos, A.Ch., 2012, "Application of Modified Atmosphere Packaging and Active/Smart Technologies to Red Meat and Poultry: A Review", doi: 10.1007/s11947-012-0803-z
- [22] Heritage Pioneer, Examining the H-Loc Trapped Blister, opgevraagd op 5 augustus 2013, van: <http://www.hpcorporategroup.com/examining-the-h-loc-trapped-blister.html>
- [23] Esturk, O., Ayhan, Z. & Gokkurt, T., 2013, " Production and Application of Active Packaging Film with Ethylene Adsorber to Increase the Shelf Life of Broccoli", doi: 10.1002/pts.2023
- [24] Artés, F., Vallejo, F. & Martínez, J.A., 2001, " Quality of broccoli as influenced by film wrapping during shipment", Springer-Verlag, doi: 10.1007/s002170100390
- [25] Jacobsson, A. et al., 2003, "Influence of packaging material and storage condition on the sensory quality of broccoli", doi:10.1016/S0950-3293(03)00070-3
- [26] Simón, A., González-Fandos, E. & Tobar, V., 2005, "The sensory and microbiological quality of fresh sliced mushroom packaged in modified atmospheres" Institute of Food Science and Technology Trust Fund
- [27] Kim, K.M. et al., 2005, "Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms", doi:10.1016/j.lwt.2005.02.015
- [28] Belcher, J.N., 2006, "Industrial packaging developments for the global meat market - Review", doi:10.1016/j.meatsci.2006.04.031
- [29] Ajili, S.H. et al., 2002, "Study on Thermoplastic Polyurethane/Polypropylene (TPU/PP) Blend as a Blood Bag Material"
- [30] Messori, M. et al., 2003, "Prevention of plasticizer leaching from PVC medical devices by using organic-inorganic hybrid coatings", doi:10.1016/j.polymer.2003.12.006
- [31] Hegemann, B. et al., 2007, "Biaxial deformation behavior of PET dependent on temperature and strain rate", Taylor & Francis, doi:10.1081/MB-120013056

Bijlage 2 - Toepassingen van PVC uit de literatuur

Flessen: vanwege helderheid, slagsterkte, vormbaarheid, chemische resistentie en lage kosten. Vooral toegepast voor schoonmaak- en reinigingsmiddelen, chemicaliën en cosmetica. Sinds de komst van water in flessen is het ook hier veel voor toegepast (vooral in ontwikkelende landen) totdat PET gangbaarder werd.

Tubes: vanwege de sterke en dunne, flexibele en transparante tubes die te maken zijn met PVC. Toepassing in haargels en de doe-het-zelf markt (afdichtingen en katten).

Folies: dunne flexibele folies voor verpakken van zeer veel producten (zakken, pouches, etc.). Skin-verpakkingen. Dikke folies worden o.a. gebruikt voor thermovormen en voor transparante vouwdozen. Ook als vensterfolie voor vouwkarton verpakkingen wordt PVC toegepast. Topseals voor polyvinylchloride (vaak vinyl genoemd) cups en als coating voor aluminium seals voor vinyl cups. Krimpsleeves voor (PET)flessen, grote krimppercentages zodat ze strak om getailleerde vormen klemmen. Krimpfolies voor bundelen van eenheden. PVC krimpfolie heeft geen smal temperatuurtraject voor krimpen (oudere machines kunnen goed overweg met PVC en soms niet met PE krimpfolie). Rekwikkelfilm toepassing, handmatig en machinaal.

Thermovorm producten: zeer goed te thermovormen, houdt vorm goed vast, hoge slagsterkte (ook in koude omstandigheden), hoge transparantie. Toepassing in thermovorm bakken en schalen, interieurs, e.d. Wordt ook toegepast in doordruk blisters voor medicijnen (met PVC gecoat aluminium rugfolie) en blisterkaarten (bevestigd op karton met een PVC coating).

Compound: door menging met methacrylaat butadien styreen (MBS). Met di(2-ethylhexyl) adipaat (DEA) wordt een goede zuurstofbarrière verkregen, geschikt voor verpakken van vlees in folies.

Additieven/menging

Door menging met andere kunststoffen of door toevoeging van additieven kunnen de eigenschappen van PVC gewijzigd worden.

De slagsterkte van PVC kan verbeterd worden door toevoeging van 7,5% acryl polymeer, ABS, CPE (chlorinated PE), EVA, MBS (polymethylmethacrylate costyreen) en MABS (een variant van de vorige).

Hitte stabilisatie wordt verbeterd door octyltin mercaptide, calciumzink compounds, methyltin.

PVC wordt gladder gemaakt met lubricants zoals vetzuur esters en amides, paraffine en polyethylene was, zinkstearaat.

Verschillende weekmakers worden gebruikt om PVC flexibeler te maken: grote groep stoffen zoals DOP's, DINP, DIHP, DOTP.

Met proces verbeteraars wordt de verwerking van PVC verbeterd. Diverse stabilisatoren worden gebruikt waaronder UV-stabilisatoren dat PVC beter geschikt maakt voor gebruik in zonlicht (regenpijpen e.d.).

Bijlage 3 - Permeabiliteit van een aantal kunststoffen inclusief PVC

Oxygen and Water-Vapor Transmission Polymer	Rates of Selected Polymers	
	OTR, nmol/(m _ s) ^a	WVTR, nmol/(m _ s) ^b
Polychlorotrifluoroethylene	36 ^c	0.004–0.009 ^d
AlOx (Toppan GX-P) ^e	0.04	0.006
Vinylidene chloride copolymers	0.02–0.30	0.005–0.05
High-density polyethylene (HDPE)	200–400	0.095
Cyclic olefin copolymers	360	0.02 ^f
Polypropylene	300–500	0.16
Amorphous nylon (EMS G21)	7.7	0.23 ^f
Low-density polyethylene (LDPE)	500–700	0.35
Ethylene–vinyl alcohol, 44 mol% ethylene	0.12	0.36 ^g
Polyethylene terephthalate (PET)	6–8	0.45
Polyvinyl chloride (PVC)	10–40	0.55
Ethylene–vinyl alcohol, 32 mol% ethylene	0.03	0.96 ^g
Nylon-6,6	7	0.95
Polyamino ether (ICI's OxyBLOC)	0.2–1.6	1
Nitrile barrier resins	1.8–2.0	1.5
Polystyrene	500–800	1.8
Nylon-6	4–6	2.7
Polycarbonate	520	2.5
Nylon-12		15.9
Polyacrylic acid (Kureha's Besela)	0.03 ^h	
Polyvinyl alcohol	0.12 ⁱ	

^aAt 23°C and 0% rh unless otherwise noted.

^bAt 38°C and 90% rh unless otherwise noted.

^cMeasured at 25°C. Reference (4).

^dMeasured at 38°C and 100% rh. Reference (4).

^eAluminium oxide coated 48ga polyester film. Units cm³ or gm/(100 in² _ day _ atm).

^fMeasured at 23°C and 85% rh. Reference (4).

^gMeasured at 40°C and 90% rh. Reference (4).

^hPAA-coated 48ga polyester film. Units cm³/(100 in² _ day _ atm). Measured at 23°C and 80% rh after retort.

ⁱMeasured at 24°C. Reference (4).