

2016•2017
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Het effect van de toepassing van een pleisterlaag voorgeschreven door de norm
EN 29052-1 voor dynamische stijfheidsmetingen

Promotor :
Prof. dr. ir. Herve DEGEE

Promotor :
ir. CHRISTIAN MERTENS

Copromotor :
Lic. CHARLOTTE CRISPIN

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

Ann-Sofie Corthouts , Brent Hermans

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

2016•2017

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: bouwkunde

Masterproef

Het effect van de toepassing van een pleisterlaag
voorgeschreven door de norm EN 29052-1 voor dynamische
stijfheidsmetingen

Promotor :
Prof. dr. ir. Herve DEGEE

Promotor :
ir. CHRISTIAN MERTENS

Copromotor :
Lic. CHARLOTTE CRISPIN

Ann-Sofie Corthouts , Brent Hermans

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

WOORD VOORAF

De masterproef die voor u ligt, werd geschreven in kader van het afronden van de opleiding industriële ingenieurswetenschappen bouwkunde aan de Universiteit Hasselt. Deze masterproef verliep in samenwerking met het WTCB, waar de onderzoeken werden uitgevoerd.

Als eerste zouden we graag het WTCB willen bedanken voor hun goede begeleiding en het boeiende onderwerp dat ons werd aangeboden. Zij gaven ons een zeer duidelijk beeld over het onderzoek in de akoestiek en boden ons de ruimte en het materiaal dat nodig was voor de onderzoeken. Hierbij hoort een persoonlijke bedanking aan de externe promotoren ir. Charlotte Crispin en ir. Christian Mertens.

Vervolgens willen we graag de Universiteit Hasselt bedanken, met in het bijzonder de interne promotor prof. dr. ir. Hervé Degée. Hij bracht ons in contact met het WTCB en bood ons de nodige theoretische achtergrond in verband met akoestiek.

Ten slotte zouden we graag onze ouders willen bedanken om ons de kans te geven om deze opleiding te volgen. Samen met onze vrienden en medestudenten gaven zij de steun en hulp die nodig was voor het afronden van deze masterproef.

INHOUDSOPGAVE

LIJST VAN TABELLEN

LIJST VAN FIGUREN

VERKLARENDE WOORDENLIJST

ABSTRACT

ABSTRACT

1.	INLEIDING	15
2.	LITERATUURSTUDIE	17
2.1	Eisen voor contactgeluidsisolatie	17
2.2	Wat is een zwevende dekvloer?	18
2.3	Verbetering in contactgeluidsisolatie	19
2.3.1	Verbetering in contactgeluidsisolatie a.d.h.v. rechtstreekse meting	19
2.3.2	Verbetering van contactgeluidsisolatie a.d.h.v. dynamische stijfheid	20
3.	DE NORM EN 29052-1	27
3.1	Randvoorwaarden	27
3.2	Onduidelijkheden	28
3.3	Vergelijking met de realiteit	28
4.	METHODOLOGIE	31
5.	RESULTATEN	37
5.1	Dynamische stijfheid	37
5.1.1	Pleister	37
5.1.2	Materiaal	37
5.2	Demping	66
6.	BESLUIT	75
	LITERATUURLIJST	77
	BIJLAGEN	79
	Bijlage 1: Technische fiche modally tuned US PAT. No.: 4799375	79
	Bijlage 2: Technische fiche Brüel & Kjær type 4398	90
	Bijlage 3: Technische fiche dBFA Software Suite	102
	Bijlage 4: Technische fiche pleister van Parijs	104
	Bijlage 5: Technische fiche Goldband	105
	Bijlage 6: Technische fiche snelpleister	107
	Bijlage 7: Effect of the application of the plaster layer	108

LIJST VAN TABELLEN

Tabel 4.1: Samenstelling pleister	32
Tabel 4.2: Eigenschappen materiaal.....	32

LIJST VAN FIGUREN

Figuur 2.1: Eisen contactgeluidsisolatie tussen ruimtes	18
Figuur 2.2: Zwevende dekvloer	19
Figuur 2.3: Proefopstelling. Eerste fase 1. Genormaliseerde klopmachine 2. Meetcel 3. Microfoon 4. Geluidsniveau L1, tweede fase 1. Genormaliseerde klopmachine 2. Microfoon 3. Geluidsniveau L2	19
Figuur 2.4: Proefopstelling. 1. Krachtsignaal 2. Versnellingssignaal 3. Accelerometer 4. Massa 5. Getest materiaal	21
Figuur 2.5: Verdichting van het materiaal.....	22
Figuur 2.6: Resonantiefrequentie van elastische lagen met een verschillende maat van demping	23
Figuur 2.7: 1. massa 2. stijfheid 3. viscositeit 4. harde ondergrond	24
Figuur 3.1: Proefopstelling	27
Figuur 3.2: Vergelijking tussen kleinschalige proeven (links) en de realiteit (rechts) ...	29
Figuur 4.1: Materialen	32
Figuur 4.2: Proefopstelling	33
Figuur 4.3: Planning metingen deel 1.....	34
Figuur 4.4: Planning metingen deel 2.....	35
Figuur 5.1: Dynamische stijfheid van pleisters	37
Figuur 5.2: Voorstelling meetresultaten dynamische stijfheid	38
Figuur 5.3: Voorstelling meetresultaten soepelheid.....	39
Figuur 5.4: Kruip van minerale wol.....	40
Figuur 5.5: Dynamische stijfheid van minerale wol met pleister van Parijs	40
Figuur 5.6: Invloed pleister van Parijs op minerale wol.....	41
Figuur 5.7: Dynamische stijfheid van minerale wol met Goldband	41
Figuur 5.8: Invloed Goldband op minerale wol	42
Figuur 5.9: Dynamische stijfheid van minerale wol met snelpleister	42
Figuur 5.10: Invloed snelpleister op minerale wol.....	42
Figuur 5.11: Vergelijking soorten pleisters op minerale wol.....	43
Figuur 5.12: Kruip van polyurethaanschuim	44
Figuur 5.13: Dynamische stijfheid van polyurethaanschuim met pleister van Parijs	45
Figuur 5.14: Invloed pleister van Parijs op polyurethaanschuim.....	45
Figuur 5.15: Dynamische stijfheid van polyurethaanschuim met Goldband.....	45
Figuur 5.16: Invloed Goldband op polyurethaanschuim	46
Figuur 5.17: Dynamische stijfheid van polyurethaanschuim met snelpleister	46
Figuur 5.18: Invloed snelpleister op polyurethaanschuim.....	46
Figuur 5.19: Vergelijking soorten pleisters op polyurethaanschuim	47
Figuur 5.20: Kruip van vilt	48
Figuur 5.21: Dynamische stijfheid van vilt met pleister van Parijs	48
Figuur 5.22: Invloed pleister van Parijs op vilt	49
Figuur 5.23: Dynamische stijfheid van vilt met Goldband	49
Figuur 5.24: Invloed Goldband op vilt.....	49
Figuur 5.25: Dynamische stijfheid van vilt met snelpleister	50
Figuur 5.26: Invloed snelpleister op vilt	50
Figuur 5.27: Vergelijking soorten pleisters op vilt	51
Figuur 5.28: Kruip van polyolefineschuim.....	52
Figuur 5.29: Dynamische stijfheid van polyolefineschuim met pleister van Parijs.....	52
Figuur 5.30: Invloed pleister van Parijs op polyolefineschuim	53
Figuur 5.31: Dynamische stijfheid van polyolefineschuim met Goldband	53
Figuur 5.32: Invloed Goldband op polyolefineschuim	54
Figuur 5.33: Dynamische stijfheid van polyolefineschuim met snelpleister	54
Figuur 5.34: Invloed snelpleister op polyolefineschuim	55

Figuur 5.35: Vergelijking soorten pleisters op polyolefineschuim	56
Figuur 5.36: Kruip van gecorrigeerd polyolefineschuim.....	57
Figuur 5.37: Dynamische stijfheid van gecorrigeerd polyolefineschuim met pleister van Parijs.....	57
Figuur 5.38: Invloed pleister van Parijs op gecorrigeerd polyolefineschuim.....	58
Figuur 5.39: Dynamische stijfheid van gecorrigeerd polyolefineschuim met Goldband.....	58
Figuur 5.40: Invloed Goldband op gecorrigeerd polyolefineschuim	58
Figuur 5.41: Dynamische stijfheid van gecorrigeerd polyolefineschuim met snelpleister	59
Figuur 5.42: Invloed snelpleister op gecorrigeerd polyolefineschuim.....	59
Figuur 5.43: Vergelijking soorten pleisters op gecorrigeerd polyolefineschuim	60
Figuur 5.44: Vergelijking soorten pleisters op gecorrigeerd polyolefineschuim (uitvergroot)	61
Figuur 5.45: Kruip van rubber	62
Figuur 5.46: Dynamische stijfheid van rubber met pleister van Parijs.....	62
Figuur 5.47: Invloed pleister van Parijs op rubber	63
Figuur 5.48: Dynamische stijfheid van rubber met Goldband	63
Figuur 5.49: Invloed Goldband op rubber.....	63
Figuur 5.50: Dynamische stijfheid van rubber met snelpleister.....	64
Figuur 5.51: Invloed snelpleister op rubber	64
Figuur 5.52: Vergelijking soorten pleisters op rubber	65
Figuur 5.53: Vergelijking soorten pleisters op rubber (uitvergroot)	66
Figuur 5.54: Demping van minerale wol.....	67
Figuur 5.55: Demping van minerale wol met pleister van Parijs	67
Figuur 5.56: Demping van minerale wol met Goldband.....	67
Figuur 5.57: Demping van minerale wol met snelpleister	68
Figuur 5.58: Demping van polyurethaanschuim	68
Figuur 5.59: Demping van polyurethaanschuim met pleister van Parijs	68
Figuur 5.60: Demping van polyurethaanschuim met Goldband	69
Figuur 5.61: Demping van polyurethaanschuim met snelpleister	69
Figuur 5.62: Demping van vilt	69
Figuur 5.63: Demping van vilt met pleister van Parijs.....	70
Figuur 5.64: Demping van vilt met Goldband	70
Figuur 5.65: Demping van vilt met snelpleister.....	70
Figuur 5.66: Demping van polyolefineschuim.....	71
Figuur 5.67: Demping van polyolefineschuim met pleister van Parijs	71
Figuur 5.68: Demping van polyolefineschuim met Goldband.....	71
Figuur 5.69: Demping van polyolefineschuim met snelpleister	72
Figuur 5.70: Demping van gecorrigeerd polyolefineschuim	72
Figuur 5.71: Demping van gecorrigeerd polyolefineschuim met pleister van Parijs	72
Figuur 5.72: Demping van gecorrigeerd polyolefineschuim met Goldband	73
Figuur 5.73: Demping van gecorrigeerd polyolefineschuim met snelpleister	73
Figuur 5.74: Demping van rubber.....	73
Figuur 5.75: Demping van rubber met pleister van Parijs.....	74
Figuur 5.76: Demping van rubber met Goldband	74
Figuur 5.77: Demping van rubber met snelpleister	74
Figuur 6.1: Kruip van monsters	75

VERKLARENDE WOORDENLIJST

c	Samendrukbaarheid [mm]
C	Interne damping [kg/s]
d	Dikte van het materiaal [m]
d_B	Dikte onder een statische belasting van 200 ± 20 Pa, gemeten na 120 seconden [mm]
d_L	Dikte onder een statische belasting van 250 ± 5 Pa, gemeten na 120 seconden [mm]
E	Elasticiteitsmodulus [N/m ²]
f	Trillingsfrequentie [Hz]
f_1	Frequentiewaarde op een afstand van -3 dB van de resonantiefrequentie [dB]
f_2	Frequentiewaarde op een afstand van +3 dB van de resonantiefrequentie [dB]
f_0	Resonantiefrequentie [Hz]
L_{nT}	Genormaliseerd geluidsdrukniveau [dB]
$L_{nT,w}$	Eengetalsaanduiding voor het contactgeluidniveau [dB]
L_p	Geluidsdrukniveau [dB]
m	Massa van de statische belasting [kg/m ²]
m_1	Werkelijke massa dekvloer [kg/m ²]
m_2	Werkelijke massa dragende vloer [kg/m ²]
p_0	Atmosferische druk [MPa]
Q	Kwaliteitsfactor
r	Luchtstromingsweerstand [kPa.s/m ²]
s'	Dynamische stijfheid [N/m ³]
s'_a	Dynamische stijfheid van de lucht in de poriën [N/m ³]
s'_s	Dynamische stijfheid van het skelet [N/m ³]
s'_t	Schijnbare dynamische stijfheid [N/m ³]
T	Transmissie [dB]
T	Nagalmtijd [s]
T_0	Referentienagalmtijd
WTCB	Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
ΔL_n	Verbetering in contactgeluidisolatie [dB]
δ	Dempingsgraad
ε	Porositeit van het materiaal
η	Interne verliesfactor
ρ	Dichtheid [kg/m ³]
v	Verandering in volume

ABSTRACT

De schijnbare dynamische stijfheid is een belangrijke eigenschap van elastische materialen gebruikt onder zwevende dekvloeren, zodat schatting van de verbetering in contactgeluidisolatie, ΔL , mogelijk wordt. Het WTCB onderzoekt de nauwkeurigheid van de schijnbare dynamische stijfheidsmetingen beschreven in de norm EN 29052-1. Uit voorgaande resultaten blijkt de pleisterlaag, aangebracht op de proefstukken, een invloed te hebben op de metingen. Als gevolg onderzoekt deze masterproef de invloed van de pleisterlaag op de dynamische stijfheid.

Zes monsters, drie met een open en drie met een gesloten celstructuur, en drie verschillende soorten pleisters worden getest volgens de norm EN 29052-1. Het materiaal en de pleister worden zowel afzonderlijk als in combinatie met elkaar getest. Bijgevolg test het onderzoek de invloed van kruip van het materiaal alsook het effect van de droogtijd van de pleisterlaag.

Het onderzoek toont aan dat kruip bij monsters met een open celstructuur beperkt is in vergelijking met monsters met een gesloten celstructuur. Volgende effecten hebben een invloed op de dynamische stijfheid; de som van de soepelheden van het materiaal en de pleisterlaag bepaalt de evolutie in tijd van de dynamische stijfheid van het geheel (1), hoe groter het contactoppervlak, hoe meer ingesloten lucht (effecten van de pleisterlaag), hoe groter de dynamische stijfheid (2), een kleiner verschil in dynamische stijfheid tussen het materiaal en de pleisterlaag leidt tot een langere beïnvloedingsduur van de pleisterlaag (3).

ABSTRACT

The apparent dynamic stiffness is an important property of resilient materials used under floating floors, which allows estimating the improvement of the impact sound pressure level, ΔL . The BBRI (Belgian Building Research Institute) performs research on the precision of this apparent dynamic stiffness measurement described in the standard EN 29052-1. Previous results proved that the plaster layer, applied on the samples, influences the measurements. As a result, this master's thesis examines the effect of the plaster layer on the dynamic stiffness.

Six samples, three open and three closed cell materials, and three different types of plaster are tested according to the standard EN 29052-1. The product and the material are tested both individually and in combination with each other. Consequently, the study examines the influence of creep of the material as well as the effect of the drying time of the plaster layer.

The study proves that the creep of open cell materials is limited compared to closed cell materials. The following effects were proven to have an influence on the dynamic stiffness; the sum of the flexibilities of the material and the plaster layer determines the evolution over time of the overall dynamic stiffness (1), the larger the contact surface, the more enclosed air (effects from the plaster layer), the higher the dynamic stiffness (2), a smaller difference in dynamic stiffness between the sample and the plaster layer leads to a longer duration of influence of the plaster layer (3).

1. INLEIDING

Het bouwakoestisch comfort kent verschillende problemen met betrekking tot geluidstransmissie. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen luchtgeluidstransmissie en contactgeluidstransmissie, die beide nogmaals onderverdeeld kunnen worden in flankerende en directe transmissie. Luchtgeluid is het geluid dat door de lucht wordt overgebracht als gevolg van het in trilling brengen van constructiedelen. Contactgeluid daarentegen, ontstaat door contact en verspreidt zich via de bouwdelen. Contactgeluidstransmissie wordt verhinderd door zwevende dekvloeren, gebruik makende van een akoestische isolatie, zodat een massa-veer-massasysteem ontstaat. Toepassing van deze elastische tussenlaag leidt tot ontkoppeling van de dekvloer met de draagvloer, wat zowel flankerende als directe transmissie verhindert. Om een vergelijking te maken tussen verschillende elastische materialen, bepaalt men de verbetering in contactgeluidsisolatie. Een mogelijke methode ter berekening van deze verbetering is het uitvoeren van grootschalige proeven. Aangezien deze proeven op ware grootte zijn, is de kostprijs en de duur van de uitvoering echter nadelig. Een kleinschalige proef zorgt voor een alternatieve methode om materialen met elkaar te vergelijken. Deze kleinschalige proeven geven een resultaat voor de dynamische stijfheid van het product, die de kracht (in N) uitdrukt noodzakelijk om een vervorming (in m) van het materiaal te veroorzaken. Op basis van deze gemeten dynamische stijfheid wordt de verbetering in contactgeluidsisolatie (bij benadering) afgeleid via wiskundige modellen [1], [2].

De nauwkeurigheid van de methode om de schijnbare dynamische stijfheid van een materiaal te bepalen, werd reeds door het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf) onderzocht. Ondanks de voorgaande kennis blijven afwijkingen zichtbaar op de resultaten van de testen. Uit deze resultaten blijkt de pleisterlaag, aangebracht op de proefstukken, een duidelijke invloed te hebben op de metingen. Verwacht wordt dat de vlakheid, bekomen door de pleisterlaag, leidt tot resultaten die de realiteit beter benaderen. Uit analyse lijkt de invloed van de pleisterlaag afhankelijk te zijn van de dynamische stijfheid, maar verder onderzoek is nodig om deze invloed te bepalen. De droogtijd van de pleisterlaag is onder andere een parameter die tot nog toe niet onderzocht werd. De norm EN 29052-1 blijkt daarnaast ook onduidelijkheden te vertonen in verband met het aanbrengen van de pleisterlaag. Door deze onduidelijkheden kunnen proeven, uitgevoerd door verschillende laboratoria, andere resultaten bekomen. Hierdoor is geen éénduidig resultaat mogelijk en is vergelijken van materialen moeilijk. Als gevolg van deze afwijkingen in de resultaten gaf de afdeling akoestiek van het WTCB aanleiding tot uitbreidend onderzoek van de pleisterlaag [3], [12].

Omwille van voorgaande redenen wordt volgende onderzoeksvraag gesteld: Wat is de invloed van de pleisterlaag op de gemeten dynamische stijfheid van een elastische tussenlaag? Dit onderzoek beoogt een verduidelijking van de invloed van de pleisterlaag op de dynamische stijfheid.

Hoofdstuk 2 verduidelijkt voorgaande kennis over contactgeluiden en het bepalen van de verbetering van contactgeluidisolatie. Zes monsters, waarvan drie monsters met een open celstructuur en drie monsters met een gesloten celstructuur, werden reeds getest door tien laboratoria. Deze proeven werden uitgevoerd volgens de norm EN 29052-1; de randvoorwaarden beschreven in deze norm en de bijhorende onduidelijkheden worden verder besproken in hoofdstuk 3. In samenwerking met de afdeling akoestiek van het WTCB worden dezelfde materialen opnieuw getest, waarbij de invloed van de pleisterlaag wordt onderzocht. Deze zes monsters zijn: minerale wol (dikte: 20 mm), polyurethaanschuim (dikte: 15 mm), vilt (dikte: 10 mm), polyolefineschuim (dikte: 15 mm), polyolefineschuim met gegolfd oppervlak (dikte: 3,5 mm) en rubber (dikte: 5 mm). De testen worden zoals voorgaand onderzoek uitgevoerd volgens de randvoorwaarden beschreven in de norm EN 29052-1. Deze worden onderzocht met verschillende soorten pleisterlagen, namelijk pleister van Parijs, Goldband en snelpleister. Vervolgens worden deze resultaten in functie van de tijd uitgezet om de invloed van de droogtijd van de pleisterlaag te bepalen. Ook wordt de pleisterlaag zonder het proefmateriaal getest om de invloed van het soort pleister te onderzoeken. Daarnaast wordt het materiaal zonder de pleisterlaag getest om het kruipgedrag van het materiaal te onderzoeken. Verdere toelichting van de gevolgde methodologie is terug te vinden in hoofdstuk 4. De bekomen meetresultaten van de verschillende proeven worden uitgebreid geanalyseerd in hoofdstuk 5, waarna een besluit volgt in hoofdstuk 6 [3], [12].

2. LITERATUURSTUDIE

2.1 Eisen voor contactgeluidsisolatie

Contactgeluiden zijn het gevolg van trillingen, aangezet door een mechanische kracht op een voorwerp, waardoor geluid wordt afgestraald. In een gebouw kunnen deze trillingen zich zeer ver verspreiden via harde materialen. Daar tegenstaand zullen zachte materialen zoals isolatie of een soepele kit maar een beperkte hoeveelheid trillingen overdragen. De NBN S 01-400-1 houdt onder andere rekening met de contactgeluidsisolatie (zowel als gevolg van flankerende als van directe transmissie) tussen bron en ontvangstruimte. Deze norm wordt gecontroleerd door middel van een genormaliseerde klop geluidsmachine. Het resultaat van deze test levert een geluidsdruk (in Pa) op, gemeten in de ontvangstruimte. Als gevolg van het logaritmisch gedrag van ons oor wordt de geluidsdruk omgezet in een geluidsdrukniveau, uitgedrukt in decibel. Dit geluidsdrukniveau wordt als volgt herleid tot een genormaliseerd geluidsdrukniveau (in dB) [1], [13]:

$$L_{nT} = L_p + 10 \log \frac{T_0}{T}$$

Met: L_p : geluidsdrukniveau gemeten in de ontvangstruimte [dB]

T : nagalmtijd gemeten in de ontvangstruimte [s]

T_0 : referentienagalmtijd in de ontvangstruimte [s] (= 0,5 s)

Wanneer de prestatie van het materiaal of de opbouw beter zal zijn, zal de waarde voor het genormaliseerd geluidsdrukniveau L_{nT} dalen. Op deze waarde wordt vervolgens een frequentieafhankelijke weging toegepast, zodat de invloed van de frequentiebanden in rekening wordt gebracht. Lage frequentiebanden hebben namelijk meer invloed op het geluidsdrukniveau. Zo ontstaat een eengetalsaanduiding voor het contactgeluidsniveau, namelijk $L_{nT,w}$ [1].

De NBN S 01-400-1 is onderverdeeld in twee klassen zoals voorgesteld in figuur 2.1. De eerste klasse is het normaal akoestisch comfort (58 dB), wat aangenaam ervaren wordt door ongeveer 7 op 10 mensen. Bij een verhoogd akoestisch comfort (54 dB) zijn ongeveer 9 op 10 mensen tevreden. De maat van akoestisch comfort is afhankelijk van de situatie [1], [13].

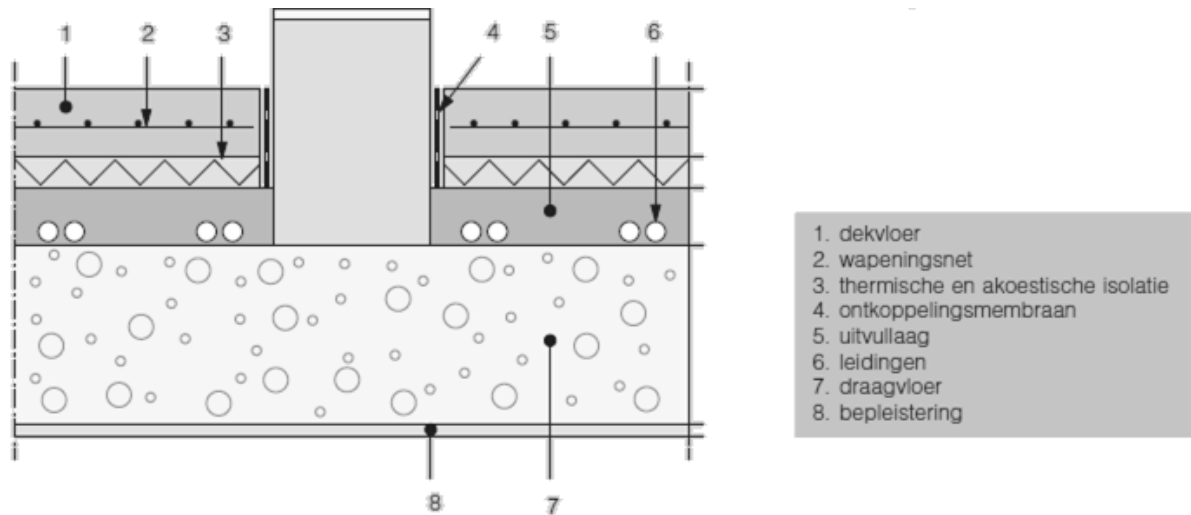
Zendruimte buiten de woning	Ontvangst-ruimte binnen de woning	Normaal akoestisch comfort	Verhoogd akoestisch comfort
Elke ruimte	Elke ruimte behalve een technische ruimte of inkomhal	$L'_{nT,w} \leq 58 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} \leq 50 \text{ dB}$
Elke ruimte behalve een slaapkamer	Slaapkamer	$L'_{nT,w} \leq 54 \text{ dB}$	$L'_{nT,w} \leq 50 \text{ dB}$
Zendruimte binnen de woning	Ontvangst-ruimte binnen de woning	Normaal akoestisch comfort	Verhoogd akoestisch comfort
Slaapkamer, keuken, woonkamer en badkamer (die niet toebehoort tot de slaapkamer/ontvangstruimte)	Slaapkamer, studeerruimte	—	$L'_{nT,w} \leq 58 \text{ dB}$

Figuur 2.1: Eisen contactgeluidsisolatie tussen ruimtes [1, p. 1]

2.2 Wat is een zwevende dekvloer?

Een zwevende dekvloer is een dekvloer geplaatst op een thermische/akoestische isolatie. Omwille van de thermische/akoestische isolatie zal slechts een deel van de trillingen van de dekvloer overgedragen worden op de basisvloer, met een beperkte geluidsafstraling tot gevolg. Zonder toepassing van een isolatielaag zal er veel geluidsafstraling zijn door beweging (trilling) van de dragende elementen. Een trillend voorwerp met een bepaalde amplitude kan een ander voorwerp laten trillen met een even grote of grotere amplitude als het oorspronkelijk voorwerp door middel van een tussenstof. In dit geval wordt er gesproken van resonantie ($f_{excitatie} = f_{resonantie}$). De grootste geluidsoverdracht van een vloeropbouw vindt bijgevolg plaats bij de resonantiefrequentie, ook de eigenfrequentie genoemd van een vloer. De eigenfrequentie van een zwevende dekvloer wordt ook de massa-veer-massa resonantie genoemd. In dat geval is de bovenste massa de afgewerkte vloer samen met de dekvloer, de veer is de isolatie en de onderste massa is de laag van dragende elementen. De eigenfrequentie van de vloeropbouw wordt enerzijds verhoogd of verlaagd door de massa respectievelijk te verlagen of te verhogen, anderzijds door isolatie met een hogere of lagere stijfheid toe te passen [1].

Figuur 2.2 geeft een voorbeeld van een goed uitgevoerde zwevende dekvloer weer. Contact van de vloerafwerking met de muur of de draagvloer wordt verhinderd door plaatsing van akoestische isolatie. Randisolatie (ontkoppelingsmembraan) en doorvoer van buizen eisen extra aandacht tijdens de plaatsing om akoestische bruggen te vermijden. Een soepele voeg wordt onder de plinten geplaatst om contact tussen vloerafwerking en muur te verhinderen [1].



Figuur 2.2: Zwevende dekvloer [1, p. 12]

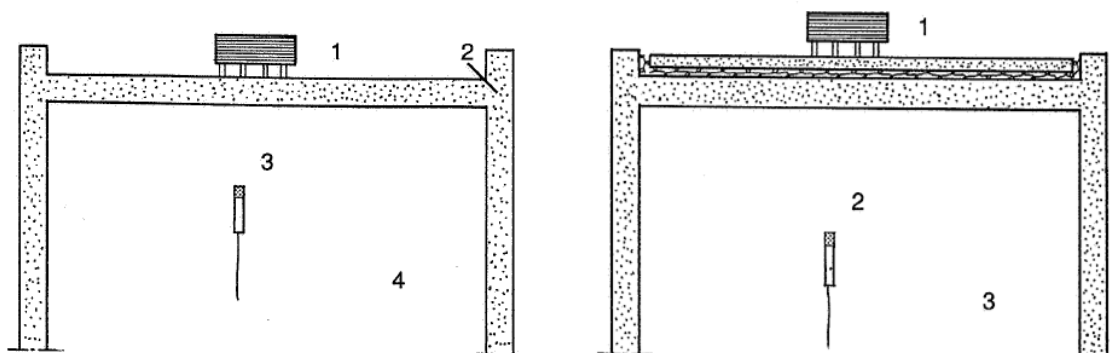
2.3 Verbetering in contactgeluidsisolatie

2.3.1 Verbetering in contactgeluidsisolatie a.d.h.v. rechtstreekse meting

Om een vergelijking te maken tussen verschillende materialen, wordt de verbetering in contactgeluidsisolatie (in dB) van een product als volgt berekend:

$$\Delta L_n = L_{n1} - L_{n2}$$

Volgens NBN S 01-007 meet men het geluidsniveau (in dB) dat veroorzaakt wordt door een klop geluidmachine, rechtstreeks geplaatst op de draagvloer (geluidsniveau L_{n1}). Vervolgens meet men het geluidsniveau waarbij de klop geluidmachine geplaatst wordt op dezelfde draagvloer met de zwevende dekvloer (geluidsniveau L_{n2}). Het verschil van deze twee metingen geeft de verbetering in contactgeluidsisolatie van de zwevende dekvloer. Figuur 2.3 illustreert de proefopstelling [2], [14].



Figuur 2.3: Proefopstelling. Eerste fase 1. Genormaliseerde klop machine 2. Meetcel 3. Microfoon 4. Geluidsniveau L_1 , tweede fase 1. Genormaliseerde klop machine 2. Microfoon 3. Geluidsniveau L_2 [2, p. 54]

Enkele parameters beïnvloeden het gemeten geluidsniveau (L_{n1}, L_{n2}):

- Het geluidsniveau is afhankelijk van de dikte van de draagvloer. Een dikkere draagvloer leidt tot een akoestische winst;
- Het geluidsniveau wordt ook beïnvloed door de interne verliesfactor. Een hogere verliesfactor, heeft een betere toestand als gevolg;
- Een grotere soortelijke massa zorgt ook voor een daling van het geluidsniveau [2].

Bovenstaande formules kan bepaald worden na meting van de geluidsniveaus aan de hand van grootschalige proeven. Het nadeel van deze proeven in ware grootte is de kostprijs en de duur van de uitvoering. De duur is namelijk afhankelijk van de uithardingstijd van de te plaatsen dekvloer, zodat gerekend wordt op een minimum duur van 28 dagen. Kleinschalige proeven zijn een alternatief om materialen met elkaar te kunnen vergelijken. Deze proeven zijn goedkoper en snel uit te voeren. Kleinschalige proeven resulteren in een waarde voor de dynamische stijfheid van het geteste materiaal. De stijfheid van het materiaal drukt de kracht (in N) uit die noodzakelijk is om de vervorming van het materiaal (in m) te veroorzaken [2].

2.3.2 Verbetering van contactgeluidisolatie a.d.h.v. dynamische stijfheid

Elk massa-veersysteem heeft een bepaalde resonantiefrequentie (in Hz). De resonantiefrequentie wordt als volgt berekend:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m}}$$

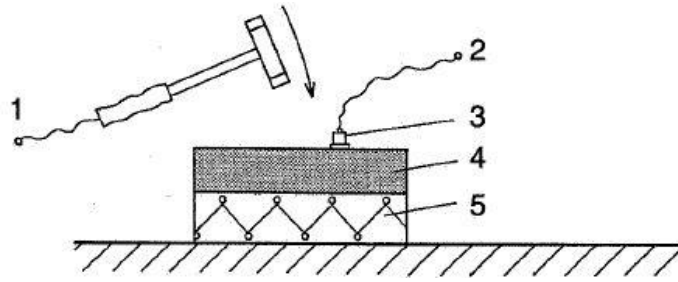
Met: f_0 : resonantiefrequentie [Hz]
 s' : dynamische stijfheid van het materiaal [N/m³]
 m : massa van de statische belasting [kg/m²]

Bovenstaande formule kan omgevormd worden tot:

$$s' = m \cdot (2\pi \cdot f_0)^2$$

Wanneer de resonantiefrequentie f_0 van het systeem gekend is, kan de stijfheid berekend worden, volgens EN 29052-1, met behulp van bovenstaande formule [2], [12].

Figuur 2.4 toont de proefopstelling, gebruikt voor de bepaling van de dynamische stijfheid van het materiaal. De proefopstelling gebeurt volgens de norm EN 29052-1; een meer uitgebreide beschrijving van de opstelling is te vinden in hoofdstuk 3. De hamer, voorzien van een krachtmeter, wekt een trilling in het systeem op. Deze trilling wordt gemeten door de accelerometer, bevestigd aan de massa. Er wordt aangenomen dat de massa enkel in verticale richting beweegt. Om de resonantiefrequentie te bepalen, wordt de transformatie van Fourier toegepast op de gemeten versnelling. Op deze manier wordt de frequentie bepaald bij maximale trilling van het systeem. Nu de resonantiefrequentie van het systeem gekend is, kan de dynamische stijfheid van het materiaal berekend worden [2], [12].



Figuur 2.4: Proefopstelling. 1. Krachtsignaal 2. Versnellingssignaal
3. Accelerometer 4. Massa 5. Getest materiaal [2, p. 51]

Volgens EN 29052-1 kunnen materialen vergeleken worden door ze los van hun dikte te bekijken. De dynamische stijfheid s' (in N/m^3) is daardoor geen geldig vergelijkingspunt. De elasticiteitsmodulus E laat vergelijking van materialen wel toe. Onderstaande formule kan toegepast worden om de elasticiteitsmodulus te berekenen [2], [4], [12]:

$$s' = \frac{E}{d}$$

Met: E : elasticiteitsmodulus [N/m^2]
 d : dikte van het materiaal [m]

Volgens de theorie van mechanische trillingen, vertoont de verbetering in contactgeluidsisolatie, in functie van de frequentie, een positief verloop van 30 dB/decade, vertrekkende van de resonantiefrequentie f_0 (een stijging van 9 dB per verdubbeling van de frequentie). Deze experimentele curve wordt geëvalueerd met betrekking tot de formules van Cremer [5].

$$\Delta L_n = 30 \log \frac{f}{f_0}$$

Na berekening van de resonantiefrequentie van de zwevende dekvloer, zou het mogelijk zijn om een schatting te maken van de verbetering [4], [6].

Ondanks dat deze voorspelde waarde voor de verbetering in contactgeluidisolatie een goede benadering geeft, blijken er toch verschillen te zijn tussen de voorspelde waarde van de verbetering en de waarde gemeten in het laboratorium. Zo worden er namelijk correcties toegepast bij de bepaling van ΔL_n , berekend uit de dynamische stijfheid om tot een betere benadering te komen. Afwijkingen tussen ΔL_n gemeten en ΔL_n berekend uit de dynamische stijfheid zijn het gevolg van aannames in het wiskundig model. Volgende correcties worden toegepast bij de voorspelde waarde van de verbetering in contactgeluidsisolatie:

- De samendrukbaarheid en de kruip van het materiaal beïnvloeden de dikte van het product;
- Het verloop van de curve van de verbetering in contactgeluidisolatie wordt beïnvloed door de damping van het materiaal;
- De luchtstromingsweerstand van het materiaal heeft ook invloed op de dynamische stijfheid van het product;
- De massa's, in realiteit gebruikt, zijn afwijkend van de constante massa's van de proefopstelling, waardoor de resonantiefrequentie wordt beïnvloed;
- De pleisterlaag die op de proefstukken wordt aangebracht, blijkt tenslotte ook een invloed te hebben.

Invloed van de samendrukbaarheid

Een elastische laag in een zwevende dekvloer met een hoge samendrukbaarheid kan doorbuigen onder de massa. Dit kan vervolgens leiden tot vezelbreuk met een vermindering van de dikte tot gevolg. Op zijn beurt leidt dit tot een toename van de dynamische stijfheid en een achteruitgang van de akoestische eigenschappen van het materiaal. Vandaar dat het belangrijk is om het materiaal te evalueren nadat het enige tijd belast wordt [4], [6].

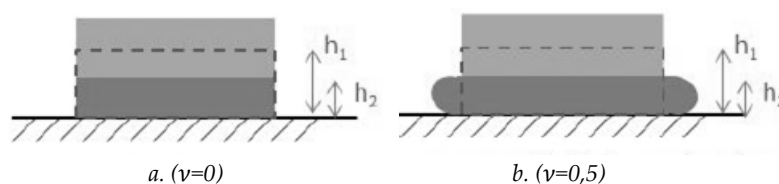
De standaard EN 12431 omschrijft de samendrukbaarheid c (in mm); de absolute waarde van het verschil tussen d_L en d_B [7], [8], [15]:

$$c = d_L - d_B$$

Met: d_L : de dikte onder een statische belasting van 250 ± 5 Pa gemeten na 120 seconden [mm]

d_B : de dikte onder een statische belasting van 2000 ± 20 Pa gemeten na 120 seconden [mm]

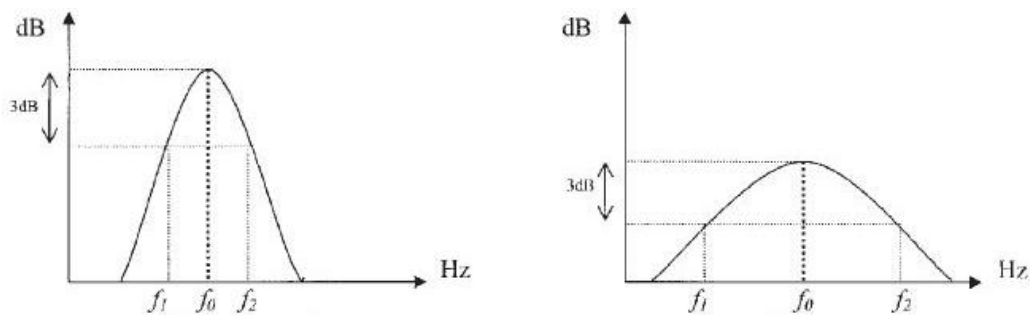
Naast de samendrukbaarheid moet ook de verdichting van het materiaal in rekening gebracht worden om het product in functie van de tijd te evalueren. Een afname van de dikte met verandering in volume ($v = 0$) heeft verdichting van het materiaal tot gevolg. Deze verdichting leidt tot een toename van de elasticiteitsmodulus E (zie figuur 2.5a). Een afname van de dikte zonder verandering in volume ($v = 0,5$) leidt niet tot verdichting van het product. Aangezien er geen verdichting is, zal er ook geen toename zijn van de elasticiteitsmodulus (zie figuur 2.5b). De verdichting van het product wordt niet opgenomen in de waarde van de samendrukbaarheid. Beide situaties worden voorgesteld in figuur 2.5 [9].



Figuur 2.5: Verdichting van het materiaal [9, p. 9]

Invloed van de demping

Het verloop van de akoestische isolatiecurve bij zwevende dekvloeren kan verschillen. De helling van de curve is afhankelijk van de waarde van de demping van de elastische laag. Deze verschillen in de curve zijn vooral belangrijk in de buurt van de resonantiefrequentie van het systeem, maar ook bij frequenties tot 1000 Hz. De helling van de curve van de geluidsdruk in functie van de frequentie is bijgevolg afhankelijk van de interne demping. Een elastische laag met een hoge interne demping leidt tot een curve met een kleinere helling vergeleken met een materiaal met een lage demping. Figuur 2.6 geeft de piek van de resonantiefrequentie weer voor materialen met verschillende dempingswaarden [4], [6].



Figuur 2.6: Resonantiefrequentie van elastische lagen met een verschillende maat van demping [4, p. 6]

De resonantiefrequentie is afhankelijk van de interne demping van de elastische laag [4], [6]:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{s'}{m} - \frac{c^2}{4m^2}}$$

Met: C : de interne demping van de elastische laag [kg/s]

$$C = 2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot m \cdot \delta$$

Met: δ : de dempingsgraad

$$\delta = \frac{1}{Q}$$

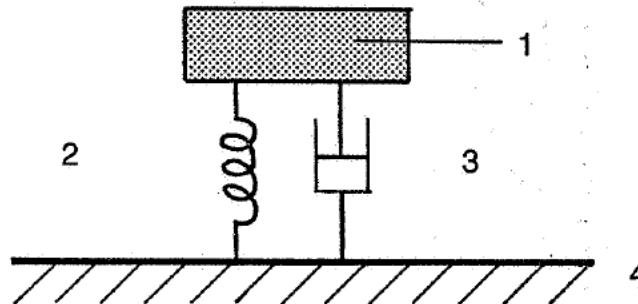
Met: Q : de kwaliteitsfactor

$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

Met: f_1 : de frequentiewaarde op een afstand van -3dB van de resonantiefrequentie [dB]

f_2 : de frequentiewaarde op een afstand van +3dB van de resonantiefrequentie [dB]

Wanneer de damping van het materiaal in rekening wordt gebracht, wordt een beter beeld gecreëerd van het gedrag ter hoogte van de resonantiefrequentie. Onderstaande figuur toont het systeem wanneer de invloed van het dampingseffect mee wordt opgenomen [2].



Figuur 2.7: 1. massa 2. stijfheid 3. viscositeit 4. harde ondergrond [2, p. 56]

De transmissie (in dB) volgens bovenstaand model kan als volgt berekend worden [2]:

$$T = 20 \log \sqrt{\frac{1 + \left(\eta \frac{f}{f_0}\right)^2}{\left(1 - \frac{f}{f_0}\right)^2 + \left(\eta \frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

Met: f : de trillingsfrequentie
 η : de interne verliesfactor

$$\eta = \frac{\Delta f}{f_0} = \frac{\delta}{\pi} = \frac{1}{Q}$$

Met: $\Delta f = f_2 - f_1$ (zie figuur 2.6)
 δ : de dempingsgraad
 Q : de kwaliteitsfactor

Invloed van de luchtstromingsweerstand

De dynamische stijfheid van een materiaal, s' , is afhankelijk van de stijfheid van het skelet, s'_s , en de stijfheid van de lucht in de poriën, s'_a . De dynamische stijfheid van de lucht in de poriën speelt een belangrijke rol afhankelijk van zijn verdichting in het materiaal tijdens de belasting [10].

$$s'_t = m \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_0)^2$$

Waarbij: s'_t : de schijnbare dynamische stijfheid [N/m³]
 m : de oppervlaktemassa van de staalplaat [kg/m²]

Men dient na te gaan of het gas in het materiaal enige bijdrage levert aan de dynamische stijfheid van het materiaal. Volgens EN 29053 kan de luchtstromingsweerstand r gemeten worden. Afhankelijk van de waarde van r onderscheidt men drie categorieën van materialen [10], [11], [16]:

- Materialen met een hoge luchtstromingsweerstand:
 $r \geq 100 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$;
- Materialen met een gemiddelde luchtstromingsweerstand:
 $10 \text{ kPa} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \leq r < 100 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$;
- Materialen met een lage luchtstromingsweerstand:
 $r < 10 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$.

De meting van de dynamische stijfheid van een materiaal wordt, volgens EN 29052-1, uitgevoerd op een klein proefstuk (200 mm x 200 mm). Voor elastische materialen met een gemiddelde luchtstromingsweerstand kan de lucht uit de poriën geperst worden. Dit in tegenstelling tot grote proefstukken waar de lucht in het materiaal blijft en zijn bijdrage levert aan de stijfheid. Voor materialen met een luchtstromingsweerstand tussen 10 kPa.s/m² en 100 kPa.s/m² wordt de stijfheid van de lucht in de poriën in rekening gebracht [10] - [12]:

$$s' = s'_t + s'_a$$

Met: $s'_a = \frac{p_0}{\varepsilon \cdot d}$

Met: s'_a : de dynamische stijfheid van de lucht in de poriën [N/m³]
 p_0 : de atmosferische druk [MPa]
 ε : de porositeit van het materiaal
 d : de dikte van het proefstuk [mm]

Bovenstaande formule kan vereenvoudigd worden indien men rekent met een porositeit rond 0,9 en een atmosferische druk van 0,1 MPa, waardoor: $s'_a = \frac{111}{d}$.

In materialen met een hoge luchtstromingsweerstand ($r \geq 100 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$) of materialen met gesloten cellen ($r \approx \infty$) blijft de lucht gevangen in de poriën. De gemeten resultaten van de stijfheid hebben in dit geval geen correctie nodig [10], [11]:

$$s' \cong s'_t \cong s'_s + s'_a$$

Voor materialen met een lage luchtstromingsweerstand ($r < 10 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$) speelt enkel de stijfheid van het skelet een rol [10], [11]:

$$s' \cong s'_t \cong s'_s$$

Samendrukking van lucht is in dit geval niet van toepassing [10], [11].

Invloed van de massa

De dekvloer, samen met de afwerking, wordt in de proefopstelling voorgesteld door een staalplaat van $\pm 8 \text{ kg}$ (200 mm x 200 mm). De dekvloer heeft een massa van $\pm 100 \text{ kg/m}^2$, wat in vergelijking met de massa van de staalplaat ($\pm 200 \text{ kg/m}^2$) tot een afwijking zal leiden. De proefopstelling wordt daarnaast ook uitgevoerd op een zware massa met grote traagheid (om de oneindige massa te benaderen). Dit contrasteert met de

werkelijkheid, aangezien een dragende vloer ($\pm 300 \text{ kg/m}^2$, 14 cm) deze zware massa niet benadert. De invloed van deze afwijkingen op de resonantiefrequentie kan als volgt berekend worden:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

Met: m_1 en m_2 : werkelijke massa's draagvloer en dragende vloer [kg/m^2]

Invloed van de pleisterlaag

Uit de resultaten van de testen, uitgevoerd door het WTCB, blijkt dat de pleisterlaag, aangebracht op de proefstukken, een duidelijke invloed heeft op de metingen. Het doel van deze pleisterlaag is een egaal oppervlak te voorzien waardoor het contactoppervlak met de stalen plaat optimaal is. Door een optimaal contactoppervlak zullen de berekeningen de realiteit benaderen.

Na analyse van de resultaten lijkt het erop dat een hogere dynamische stijfheid leidt tot een grotere invloed van de pleisterlaag. Verder onderzoek is nodig om deze invloed te kunnen schatten [3].

3. DE NORM EN 29052-1

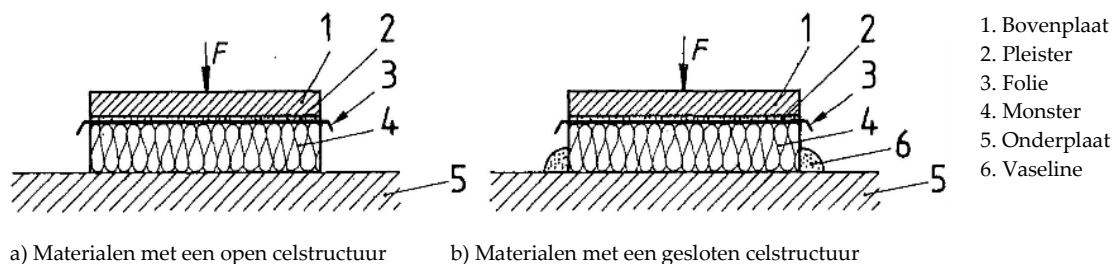
3.1 Randvoorwaarden

Het te testen monster wordt geplaatst op een basis waarvan de traagheid zo groot is dat de vibratiesnelheid verwaarloosbaar is ten opzichte van de stalen belastingsplaat. Vervolgens wordt er op het monster een vierkante stalen belastingsplaat geplaatst met afmetingen van 200 ± 3 mm op 200 ± 3 mm. Zowel de basis als de belastingsplaat moeten vlak zijn, met een maximale onregelmatigheid van 0,5 mm. Tevens is het belangrijk dat zowel de basis als de belastingplaat stijf is, om buiging bij eigenfrequentie te voorkomen.

Deze proef wordt op minstens drie verschillende exemplaren (200 mm x 200 mm) van hetzelfde materiaal uitgevoerd. Het oppervlak van het te testen monster wordt als vlak beschouwd indien de oneffenheden kleiner zijn dan 3 mm. Op het te testen materiaal wordt een waterdichte folie aangebracht met een dikte van 0,02 mm. Daarboven wordt een pleisterlaag van minstens 5 mm geplaatst, zodat elke oneffenheid wordt weggewerkt. Indien het te testen materiaal een gesloten celstructuur heeft, wordt er langs iedere zijde van het te testen materiaal vaseline aangebracht. Deze contour zorgt ervoor dat de lucht tussen het product en de basis ingesloten blijft. De opstelling wordt weergegeven in figuur 3.1.

De resonantiefrequentie f_0 kan bepaald worden aan de hand van een sinusvormige witte ruis of pulssignalen. Bij een geschil wordt de methode met gebruik van pulssignalen als referentiemethode beschouwd.

De resonantiefrequentie bij de methode via pulssignalen wordt bekomen bij een constante excitatiekracht. Indien de resonantiefrequentie afhankelijk is van de amplitude van de excitatiekracht, wordt de resonantiefrequentie bepaald door te extrapoleren tot een nul krachtsamplitude. Alle metingen zullen ten minste op drie verschillende plaatsen worden uitgevoerd [12].



Figuur 3.1: Proefopstelling [12, p. 3]

3.2 Onduidelijkheden

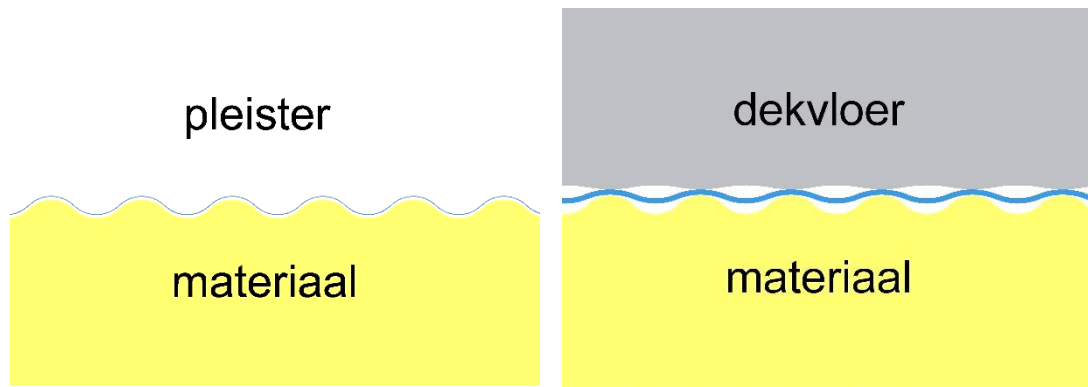
In de EN 29052-1 zijn enkele zaken beschreven die, afhankelijk van de interpretatie, kunnen leiden tot meerdere mogelijke proefopstellingen. Op deze manier kan men bij het testen van hetzelfde monster, toch verschillende waardes bekomen. Mogelijke onduidelijkheden worden hieronder opgesomd:

- Een te testen materiaal met een gesloten celstructuur wordt volgens de norm voorzien van een vaselinelaag aan de zijkanten (zie figuur 3.1). De norm beschrijft echter niet over welke hoogte deze vaselinelaag moet aangebracht worden;
- De norm biedt verder geen duidelijkheid over de droogtijd, de maximale dikte en de hoeveelheid toegevoegd water aan de pleisterlaag;
- Wanneer het te testen materiaal een vlak contactoppervlakte heeft, is de norm nog onduidelijk indien het monster al dan niet moet beschikken over een pleisterlaag;
- Tenslotte worden de condities van de ruimte (temperatuur, relatieve vochtigheid) niet opgelegd in de norm.

3.3 Vergelijking met de realiteit

Wanneer kleinschalige proeven worden vergeleken met de uitvoering in realiteit, kan het verschil tussen de pleisterlaag en de dekvloer onderzocht worden. Beide materialen zorgen voor een egaal oppervlakte, maar vergelijking van de materialen toont duidelijk verschillen aan:

- Een dekvloer bestaat uit drie bestanddelen: cement, water en zand. De pleister bestaat daarentegen uit gips en water. Bij de dekvloer kan eventueel segregatie plaatsvinden, wat niet zal voorkomen bij het gebruik van pleister. Daarnaast is er een duidelijk verschil in grootte van partikels bij vergelijking van de bestanddelen zand en gips;
- Bij het plaatsen van een dekvloer op een isolatielaag, voorziet men eerst een PE-folie om indringing van vocht uit de dekvloer in de isolatielaag te vermijden. Bij kleinschalige proeven gebruikt men, zoals voorgeschreven in de norm EN 29052-1, een waterdichte folie van 0,02 mm. De PE-folie onder de dekvloer is veel dikker ten opzichte van de waterdichte folie onder de pleisterlaag. Dit leidt tot een verschil in vlakheid tussen folie en isolatielaag zoals weergegeven in figuur 3.2;
- Een dekvloer zal bij uitvoering een hogere viscositeit hebben in vergelijking met een pleisterlaag. In de realiteit zal dus sneller brugvorming voorkomen boven de isolatielaag, waardoor geen optimaal contactoppervlak ontstaat zoals weergegeven in figuur 3.2;
- De droogtijd van de dekvloer is minimum 28 dagen, terwijl de droogtijd van een pleisterlaag slechts enkele uren bedraagt. Het isolatiemateriaal bij de grootschalige uitvoering zal hierdoor meer kruip ondervinden dan bij kleinschalige testen.



Figuur 3.2: Vergelijking tussen kleinschalige proeven (links) en de realiteit (rechts)

4. METHODOLOGIE

De proefopstelling wordt uitgevoerd volgens de norm EN 29052-1. Zoals figuur 2.4 reeds voorstelt, wordt het materiaal (200 mm x 200 mm) belast met een stalen plaat van ± 8 kg, wat overeenkomt met een belasting van 200 kg/m^2 . Het materiaal samen met de belastingsplaat, wordt op een betonnen massa (1,5 m x 0,6 m x 0,8 m) geplaatst, die op zijn beurt rechtstreeks op een gepolierde betonnen draagvloer staat. Op deze manier wordt een massa-veersysteem bekomen. Met een hamer, gekoppeld aan een krachtmeter (modally tuned US PAT. No.: 4799375, zie Bijlage 1) wordt het systeem in trilling gebracht. Een accelerometer (Brüel & Kjær type 4398, zie Bijlage 2), die magnetisch wordt bevestigd op de stalen plaat, meet de trilling die door de hamerslag wordt veroorzaakt. De resonantiefrequentie kan vervolgens afgelezen worden uit de Fourier getransformeerde curve (gegenereerd met dBFA Software Suite, zie Bijlage 3), waarbij het versnellingsniveau in functie van de frequentie staat. De resonantiefrequentie is de frequentie bij het grootst gemeten versnellingsniveau.

Het onderzoek wijkt in sommige opzichten af van de randvoorwaarden van de norm EN 29052-1:

- De proeven worden volgens de norm uitgevoerd op drie verschillende exemplaren, terwijl in dit onderzoek slechts twee materialen met een pleisterlaag worden getest;
- De norm beschrijft om materialen met een gesloten celstructuur te voorzien van een vaseline laag, die in dit geval niet wordt toegepast;
- Volgens de norm wordt er enkel onder de pleisterlaag een waterdichte folie van 0,02 mm aangebracht. In tegenstelling tot de norm wordt een extra waterdichte folie aan de bovenzijde voorzien, om bevuiling van de stalen plaat te beperken;
- Volgens de norm wordt een pleisterlaag van minstens 5 mm aangebracht, wat in dit onderzoek slechts 2 à 3 mm is. Deze dikte is gekozen met betrekking tot de oneffenheden van de producten, die in dit onderzoek slechts beperkt zijn;
- De metingen worden volgens de norm uitgevoerd op drie verschillende plaatsen, aangezien de resonantiefrequentie afhankelijk is van de amplitude van de excitatiekracht. In dit onderzoek wordt afgeweken van de norm doordat de meting slecht op één plaats wordt uitgevoerd [12].

De uitgevoerde metingen zijn niet genormaliseerd, aangezien deze metingen onderdeel maken van een onderzoek. Het doel van dit onderzoek is slechts de invloed van de droogtijd van de pleister en de kruip van het product in functie van de tijd te bepalen. Afwijkingen op de norm EN 29052-1 zijn daarom ook gerechtvaardigd voor dit onderzoek.

De invloed van drie verschillende soorten pleisters wordt op zes verschillende materialen getest. De drie verschillende soorten pleisters zijn: pleister van Parijs, Goldband en snelpleister (technische fiches, zie Bijlage 4 - Bijlage 6). In tabel 4.1 wordt

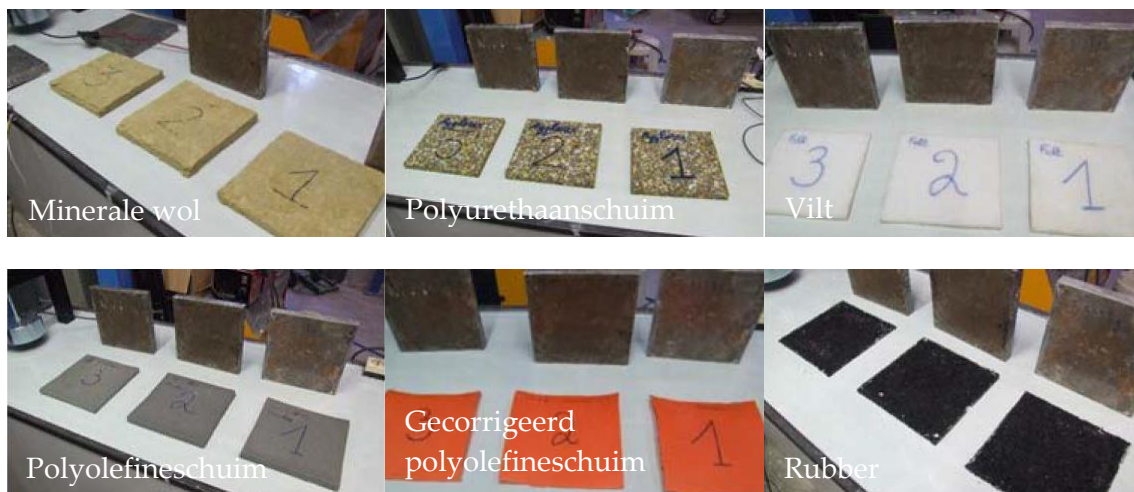
de toegepaste verhouding pleister-water weergegeven, deze kan afwijken van de door de producent opgegeven verhoudingen, opdat een optimale viscositeit wordt bekomen. De zes verschillende materialen zijn: minerale wol, polyurethaanschuim, vilt, polyolefineschuim, polyolefineschuim met gegolfd oppervlak en rubber. Figuur 4.1 toont de geteste materialen en enkele van hun eigenschappen worden weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.1: Samenstelling pleister

	Pleister van Parijs	Goldband	Snelpleister
Samenstelling			
Hoeveelheid pleister [g]	600	600	800
Hoeveelheid water [g]	300	400	400

Tabel 4.2: Eigenschappen materiaal

	Minerale wol	Polyurethaan-schuim	Vilt	Polyolefine-schuim	Polyolefine-schuim	Rubber
Dikte [mm]	20	15	10	15	3,5	5
Dichtheid ρ [kg/m ³]	108	82	42	30	58	543



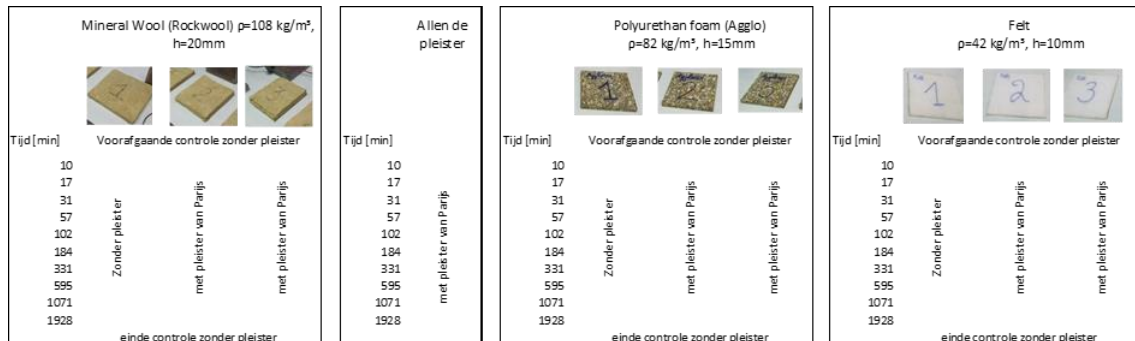
Figuur 4.1: Materialen [3, p. 2]

Elke proef bestaat uit drie stalen van hetzelfde materiaal, waarvan één staal wordt getest zonder pleisterlaag en twee stalen met eenzelfde pleisterlaag (2 à 3 mm dikte). Aan het begin van elke proef wordt een controlemeting gedaan, waarbij elke staal zonder pleisterlaag wordt getest. Na het aanbrengen van de pleisterlaag wordt er volgens logaritmische tijdstippen gemeten om de invloed van de droogtijd van de pleisterlaag op het materiaal te onderzoeken. De staal zonder pleisterlaag wordt getest om de kruip van het materiaal te bepalen. Figuur 4.2 toont de proefopstelling zoals deze wordt uitgevoerd, waarbij twee verschillende materialen worden getest (boven- en onderaan drie stalen van hetzelfde materialen). De twee linksgelegen materialen worden zonder pleisterlaag getest, terwijl de overige vier materialen worden getest met eenzelfde pleisterlaag. Daarnaast wordt ook elke pleister afzonderlijk getest (zonder

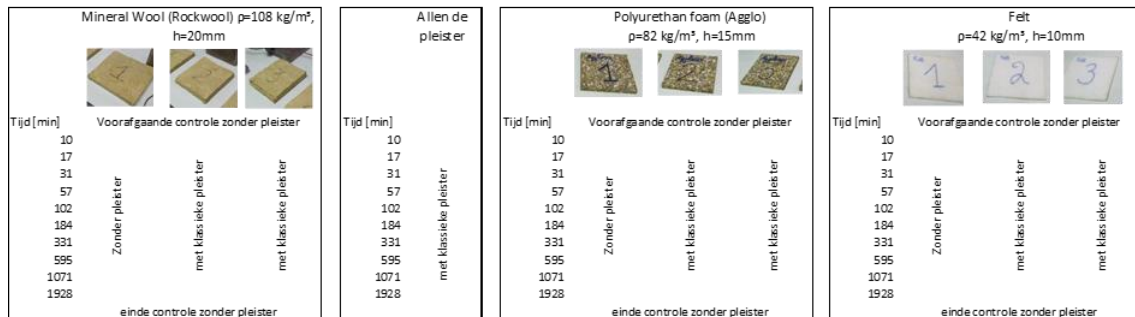
isolatiemateriaal), om het gedrag van de pleisterlaag te bepalen. Per soort pleister worden drie verschillende pleisterlagen aangemaakt waarop de meting wordt uitgevoerd. Figuur 4.3 en figuur 4.4 tonen een overzicht van de planning van de metingen.



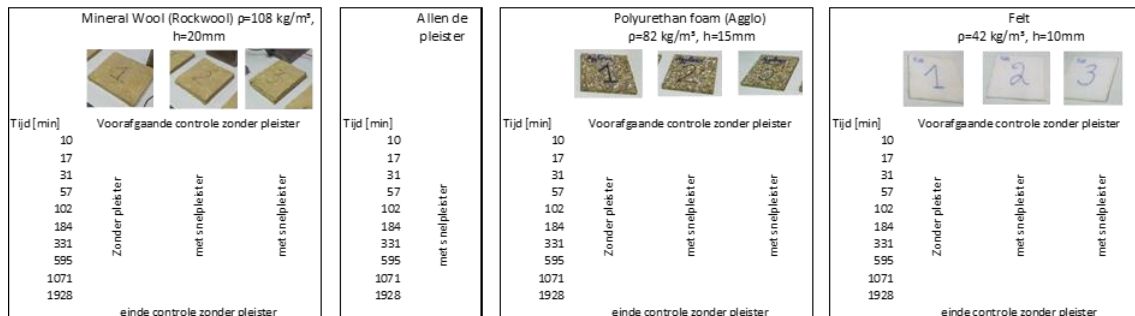
Figuur 4.2: Proefopstelling



Bepaling van de dikte van de pleister met een schuifmaat

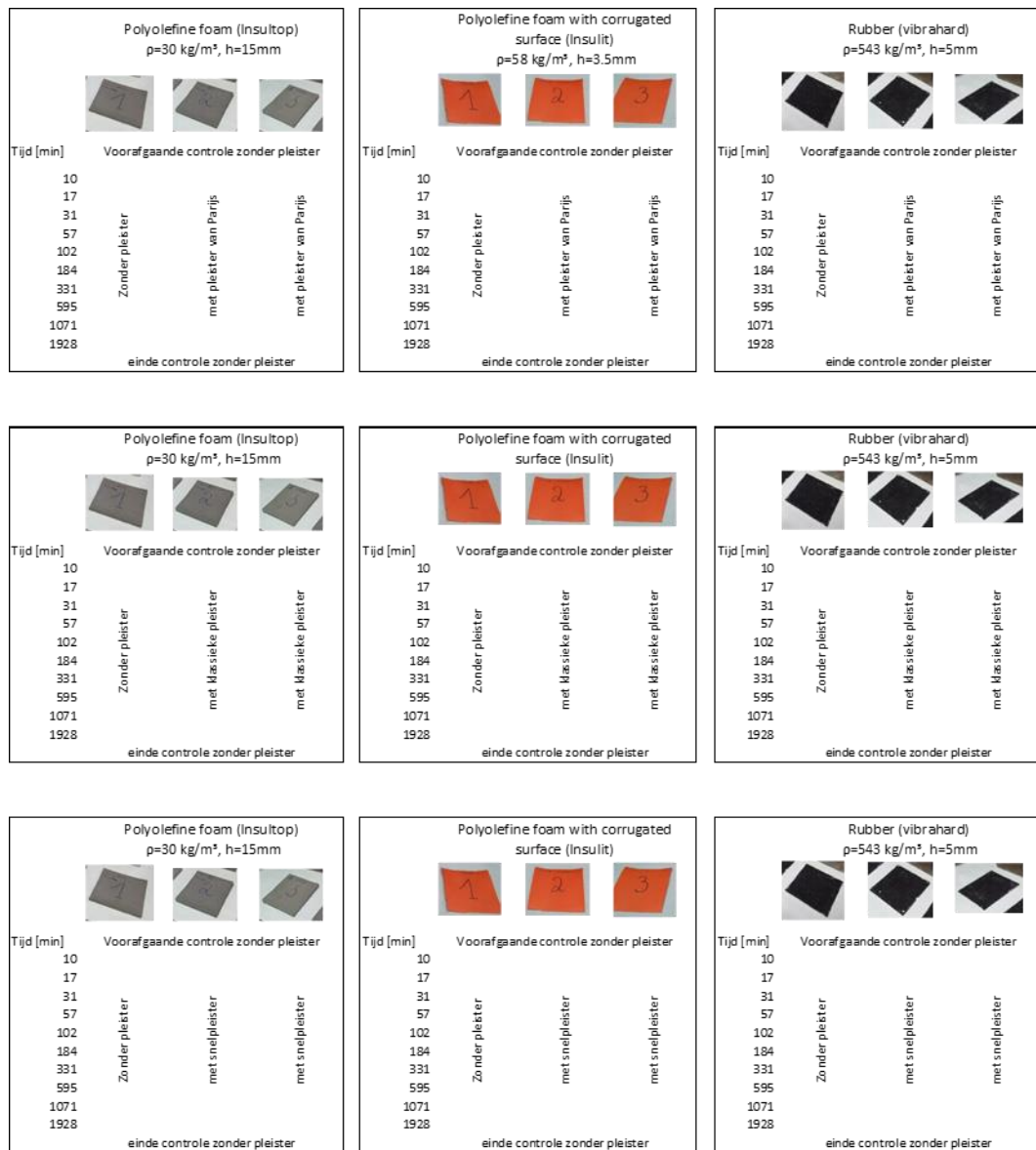


Bepaling van de dikte van de pleister met een schuifmaat



Bepaling van de dikte van de pleister met een schuifmaat

Figuur 4.3: Planning metingen deel 1



Figuur 4.4: Planning metingen deel 2

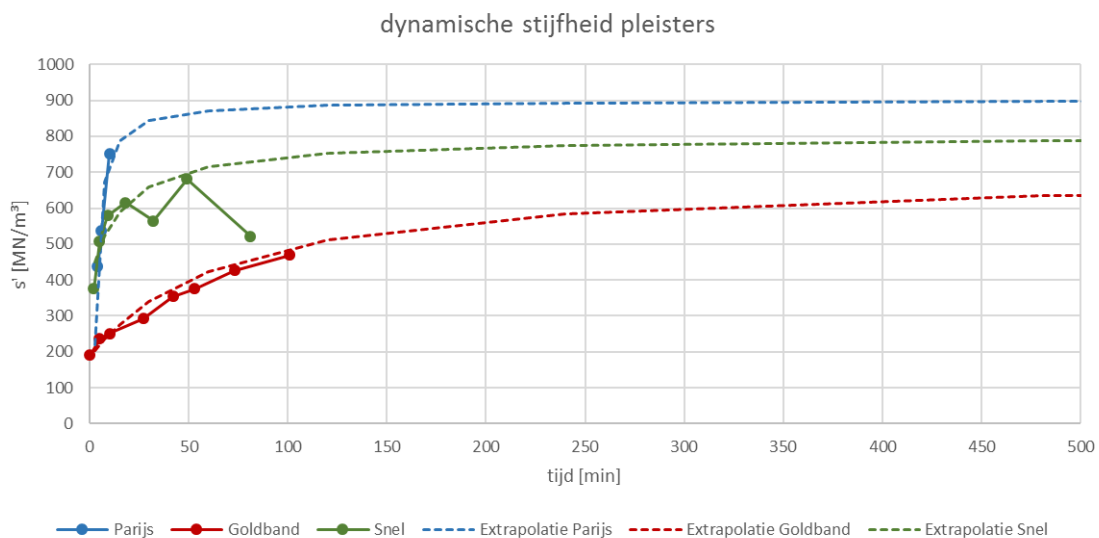
5. RESULTATEN

De resultaten van de dynamische stijfheid zullen per soort pleister en per materiaal besproken worden. Vervolgens zal ook de damping per materiaal in functie van de tijdsevolutie geanalyseerd worden.

5.1 Dynamische stijfheid

5.1.1 Pleister

Onderstaande figuur toont de evolutie van de dynamische stijfheid in de tijd van de verschillende soorten pleisters. Er wordt een extrapolatie uitgevoerd op de bekomen resultaten, aangezien de hoge stijfheden (aan het einde van de meting) moeilijk af te lezen zijn uit de metingen. Deze geëxtrapoleerde curves worden weergegeven door de stippellijnen in figuur 5.1. Pleister van Parijs vertoont een enorme stijging aan het begin van de meting, terwijl Goldband een vlakker verloop vertoont. Het verschil in helling is het gevolg van de uithardingstijd van de pleister. Een steile helling wijst op een snelle uithardingstijd, terwijl een vlakke helling duidt op een trage droogtijd. Uit figuur 5.1 blijkt dat pleister van Parijs een snelle uithardingstijd heeft in vergelijking met de zeer trage uithardingstijd van Goldband. Snelpleister vertoont een snelle uithardingstijd aan het begin van de meting, waarna het proces wat vertraagt.

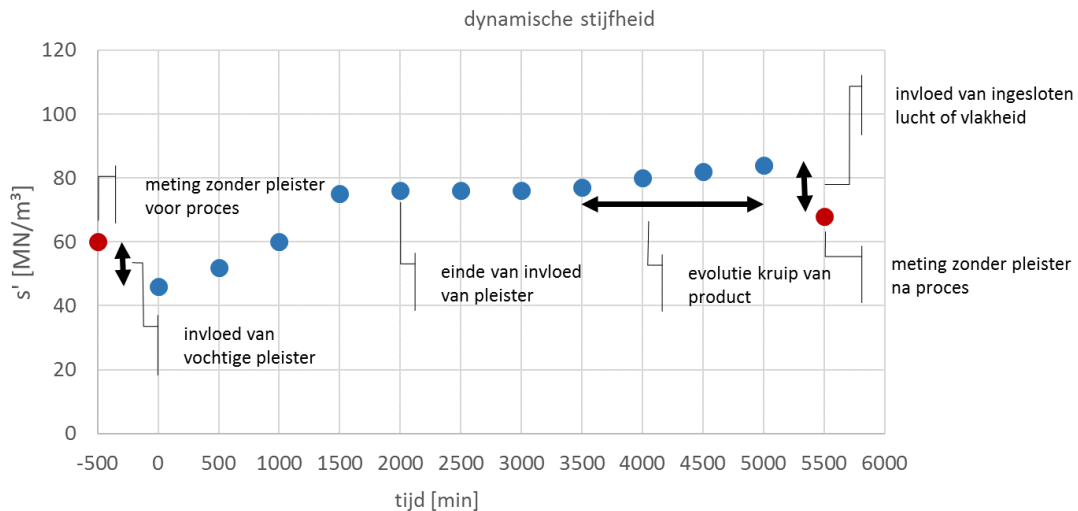


Figuur 5.1: Dynamische stijfheid van pleisters

5.1.2 Materiaal

Figuur 5.2 geeft een voorbeeld van hoe de grafieken van de meetresultaten voorgesteld zullen worden. Aan het begin van de test wordt een meting van het materiaal zonder pleister uitgevoerd, dit wordt in onderstaande figuur voorgesteld door de eerste rode meting. Vervolgens wordt de pleisterlaag toegevoegd, waarna een eerste meting gebeurt. Het verschil tussen de meting zonder pleister en de meting met de vochtige pleisterlaag, geeft de invloed van deze vochtige pleister. De steilere helling van het

verloop aan het begin van de meting geeft de invloed van de pleister weer. De lichtere helling die daarop volgt, geeft de evolutie van de kruip van het product weer. Aan het einde van het proces wordt opnieuw een meting uitgevoerd zonder de pleisterlaag, in figuur 5.2 voorgesteld door het tweede rode meetpunt. Het verschil tussen deze meting en de laatste meting met pleister, geeft de invloed van de ingesloten lucht of de vlakheid weer. Deze invloed is afhankelijk van het materiaal dat wordt getest. Aangezien het materiaal ontlast na verwijdering van de pleisterlaag (en dus ook de staalplaat), zal de werkelijk uitgevoerde meting verwaarloosbaar zijn. Deze laatste meting zonder pleister wordt bijgevolg theoretisch bepaald aan de hand van de kruipcurve van het materiaal.

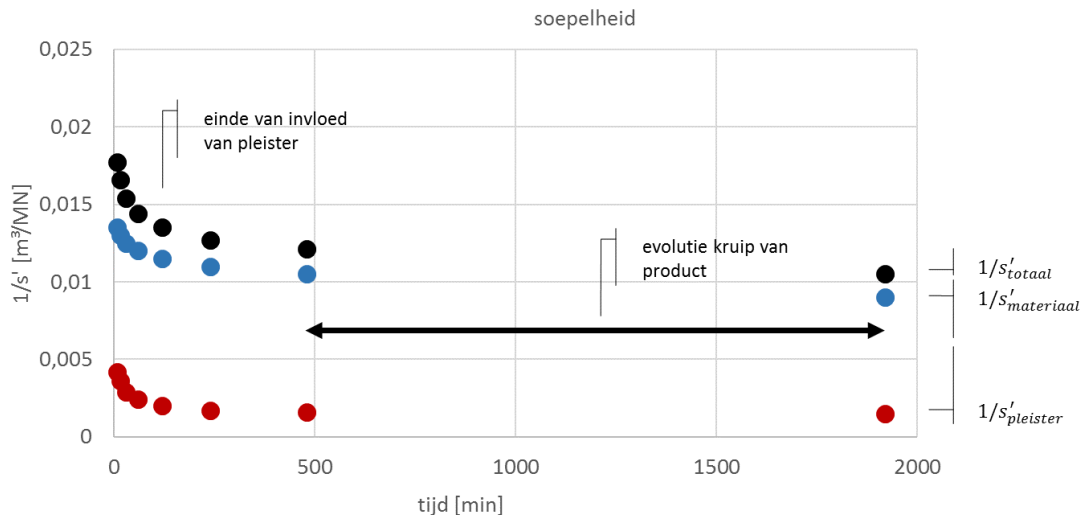


Figuur 5.2: Voorstelling meetresultaten dynamische stijfheid

Eerder wordt vermeld dat uit vorig onderzoek blijkt dat een hogere dynamische stijfheid leidt tot een grotere invloed van de pleisterlaag. Dit kan te wijten zijn aan de grote dynamische stijfheid van de pleister, waardoor de invloed zeer klein zal zijn op materialen met een kleine stijfheid. In verdere analyse zal gecontroleerd worden indien volgende bewering correct is:

$$\frac{1}{s'_{\text{totaal}}} = \frac{1}{s'_{\text{pleister}}} + \frac{1}{s'_{\text{materiaal}}}$$

De meetresultaten worden bijgevolg ook voorgesteld zoals getoond in figuur 5.3. Uit deze grafiek wordt de beïnvloedingsduur van de pleisterlaag afgeleid, alsook de evolutie van de kruip van het materiaal. Op deze manier kan afgeleid worden welk gedrag afhankelijk is van het materiaal en welk effect het gevolg is van de pleisterlaag.



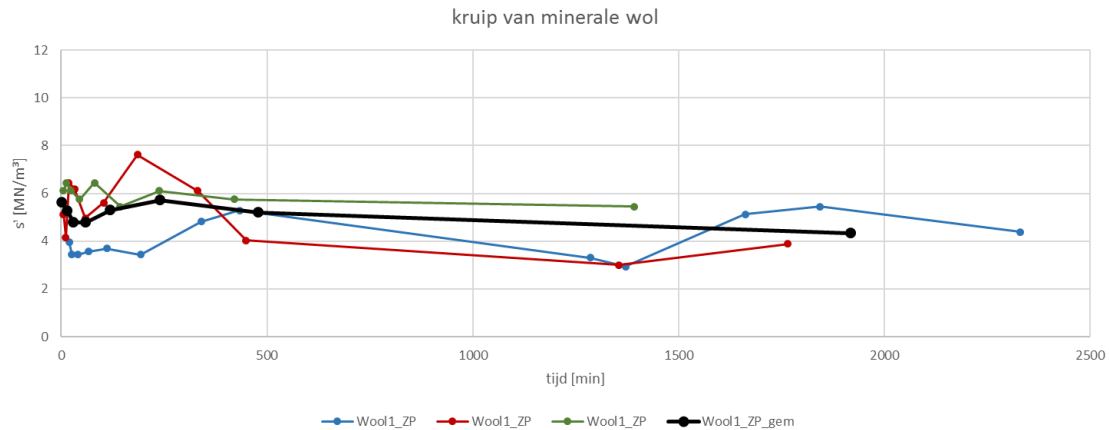
Figuur 5.3: Voorstelling meetresultaten soepelheid

Minerale wol (Wool)

Het getest materiaal minerale wol, met open celstructuur, heeft een dikte van 20mm en een dichtheid van 108 kg/m^3 . De resonantiefrequentie van minerale wol is gelegen tussen 20 en 35 Hz en verschilt van staal tot staal. De dynamische stijfheid verschilt van 4 tot 6 MN/m^3 , waardoor de elasticiteitsmodulus E gelegen is tussen 0,08 en 0,12 MN/m^2 .

Door het grote verschil in dikte tussen het materiaal en de pleisterlaag (materiaal: 20 mm, pleisterlaag: 2 à 3 mm) zal de invloed van de pleisterlaag beperkt zijn. Daarnaast is minerale wol geen homogeen materiaal, waardoor het risico bestaat dat de massa (stalen plaat) niet volledig horizontaal ligt. De positie van het aanslaan heeft dan een zeer grote invloed op het resultaat van de meting. Bij het onderzoek wordt er afgeweken van de norm EN 29052-1, die voorschrijft om het gemiddelde te nemen van drie metingen, die op verschillende plaatsen worden aangeslagen. Aangezien slechts één schok wordt uitgevoerd, zal dit mogelijks leiden tot afwijkingen/schommelingen in de metingen.

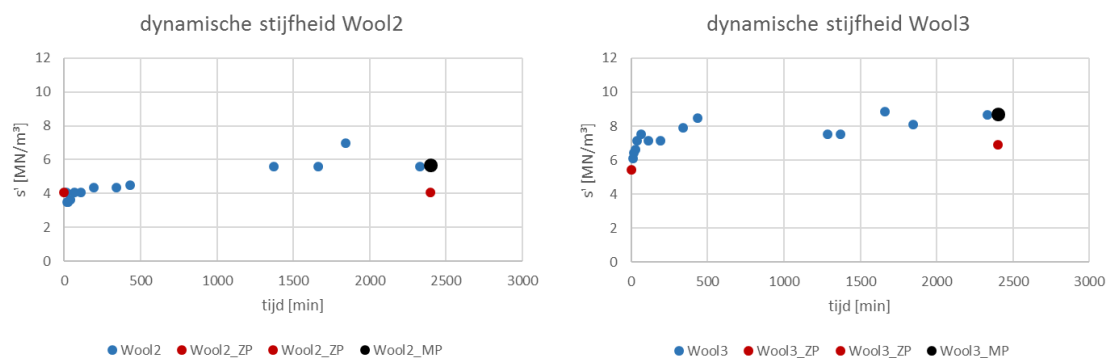
Figuur 5.4 toont de drie curves van de metingen van minerale wol zonder pleister, waarbij de dynamische stijfheid van het materiaal in functie van de tijd staat. Op deze manier kan de kruip van het materiaal bepaald worden. Van deze drie curves wordt een gemiddelde curve genomen, Wool1_ZP_gem, die in de verdere analyse zal gebruikt worden om de invloed van de pleisterlaag te bespreken. Zoals eerder vermeld zijn er heel wat schommelingen zichtbaar als gevolg van de heterogeniteit van minerale wol. Over het algemeen heeft de gemiddelde curve van het materiaal zonder pleisterlaag een redelijk constant verloop.



Figuur 5.4: Kruip van minerale wol

Pleister van Parijs

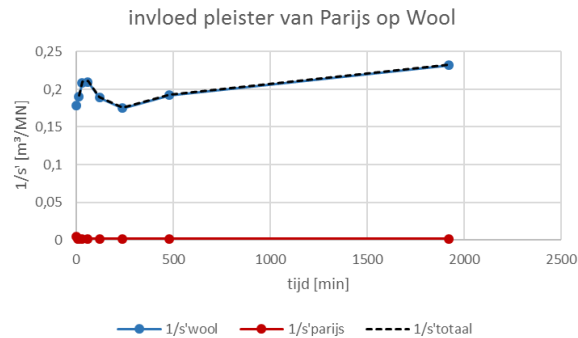
Figuur 5.5 toont de dynamische stijfheid (in MN/m^3) in functie van de droogtijd van de pleister van Parijs (in min). Hier is geen duidelijk verloop van de dynamische stijfheid zichtbaar. De meetresultaten schommelen rond éénzelfde waarde net zoals de curves van minerale wol zonder pleister (figuur 5.4). Deze schommelingen zijn ook hier te wijten aan de heterogeniteit van het materiaal. De invloed van de vochtige pleister is zeer beperkt, aangezien de meting Wool2_ZP/Wool3_ZP aan het begin weinig verschilt met de eerste meting van het materiaal met pleister. De grafieken tonen de invloed van de vlakheid (ten gevolge van de pleisterlaag) door het afstandsverschil tussen de laatste meting met pleister en de meting zonder pleister (Wool2_ZP/Wool3_ZP) aan het einde van het proces. Wool2_MP en Wool3_MP zijn de gemiddelde waarden van de eindmetingen met de verschillende soorten pleister. Onderstaande grafiek toont dat Wool met uitgehard pleister van Parijs nagenoeg niet verschilt met deze gemiddelde waarde. Uiteindelijk kan er uit figuur 5.5 afgeleid worden dat pleister van Parijs weinig tot geen invloed heeft op minerale wol.



Figuur 5.5: Dynamische stijfheid van minerale wol met pleister van Parijs

Figuur 5.6 toont de theoretische benadering van de invloed van pleister van Parijs op minerale wol. De soepelheid van het materiaal $1/s'$ (in m^3/MN) wordt uitgedrukt in functie van de tijd (in min). De blauwe curve is omgekeerd evenredig met de gemiddelde curve van de dynamische stijfheid van minerale wol zonder pleister (figuur 5.4). Ook de rode curve is omgekeerd evenredig met de extrapolatie curve van de dynamische stijfheid van pleister van Parijs (figuur 5.1). De zwarte stippellijn is de som van beide

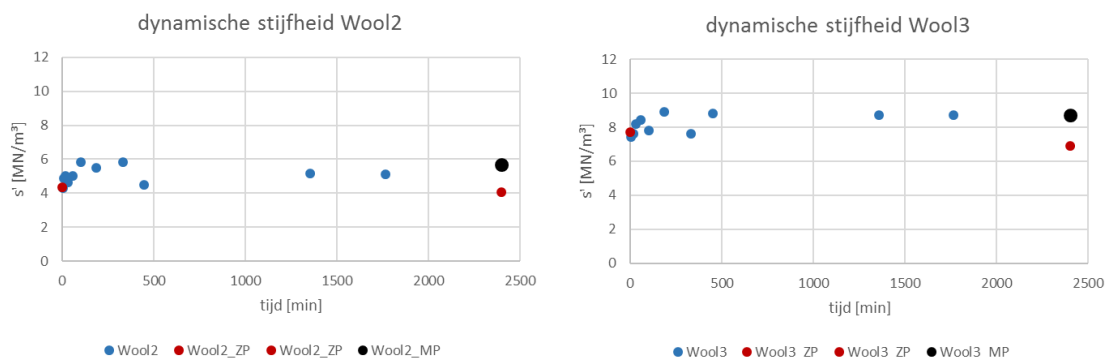
soepelheden. Uit onderstaande grafiek kan bijgevolg afgeleid worden dat pleister van Parijs geen invloed heeft op minerale wol. Mogelijke schommelingen zijn enkel het gevolg van de heterogeniteit van het materiaal.



Figuur 5.6: Invloed pleister van Parijs op minerale wol

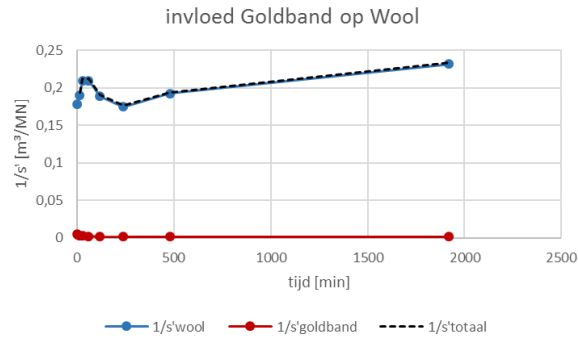
Goldband

Net zoals bij de meting met pleister van Parijs is het zichtbaar dat de dynamische stijfheid van minerale wol met Goldband schommelt, maar redelijk constant blijft (figuur 5.7). Ook de metingen aan het begin (zonder pleister) vertoont slechts een klein verschil met de meting met pleister. De meting zonder pleisterlaag aan het einde van het proces verschilt ook hier met de eindmeting met pleister als gevolg van de vlakheid die wordt bekomen door de pleisterlaag. Uit onderstaande grafiek kan aangenomen worden dat de invloed van Goldband op minerale wol ook zeer beperkt tot verwaarloosbaar is.



Figuur 5.7: Dynamische stijfheid van minerale wol met Goldband

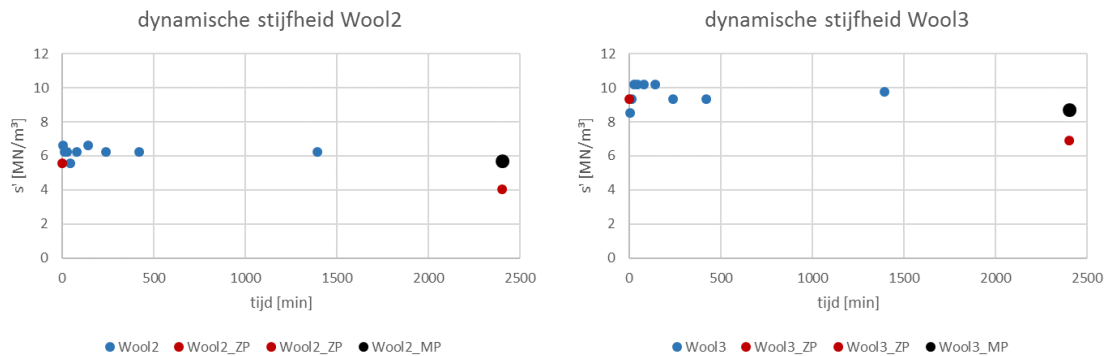
Uit figuur 5.8 kan dezelfde conclusie getrokken worden als uit figuur 5.6 (pleister van Parijs). Minerale wol vertoont enkel schommelingen ten gevolge van zijn oneffen oppervlak en wordt niet beïnvloed door Goldband. De dynamische stijfheid van minerale wol ligt veel lager dan deze van Goldband, waardoor de invloed van de pleisterlaag verwaarloosbaar klein is.



Figuur 5.8: Invloed Goldband op minerale wol

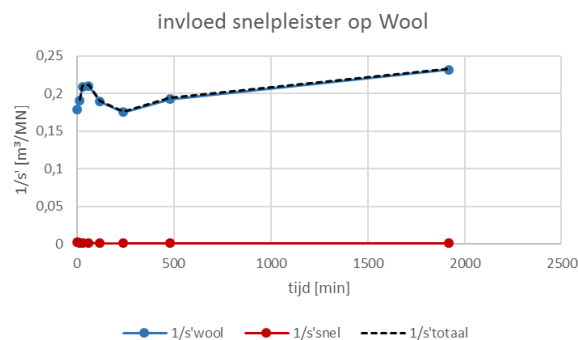
Snelpleister

Uit figuur 5.9 kan afgeleid worden dat snelpleister een kleine tot zelfs geen invloed heeft op minerale wol. Dit is zichtbaar in de grafiek doordat het verloop van de materialen met snelpleister redelijk horizontaal is zoals het verloop van de gemiddelde curve van minerale wol zonder pleister (figuur 5.4).



Figuur 5.9: Dynamische stijfheid van minerale wol met snelpleister

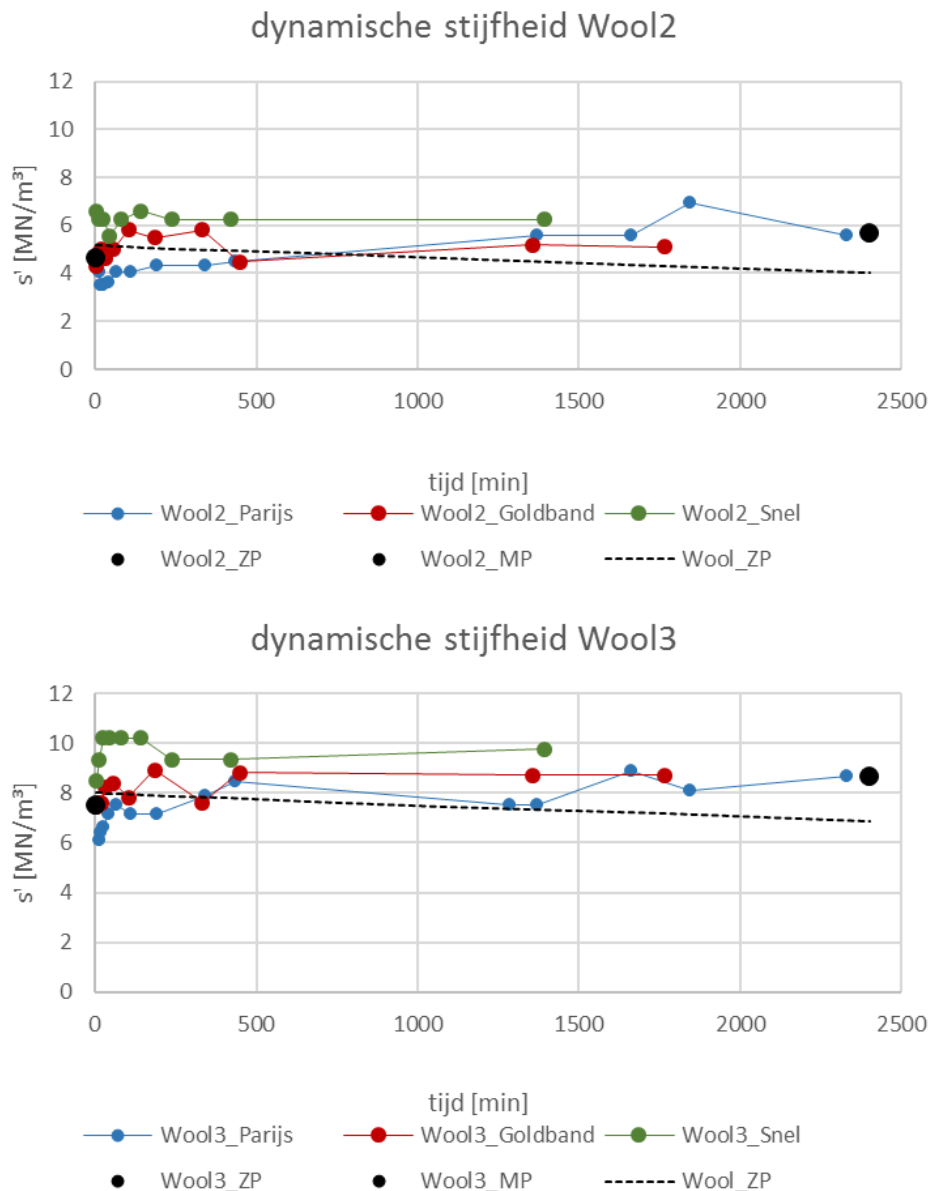
Ook figuur 5.10 toont dezelfde conclusie als figuur 5.6 en figuur 5.8, namelijk dat de invloed van snelpleister op minerale wol verwaarloosbaar klein is. De curve van de soepelheid van het materiaal met de pleisterlaag ($1/s'_{\text{totaal}}$) ligt namelijk op de curve van de soepelheid van het materiaal zonder pleisterlaag ($1/s'_{\text{wool}}$).



Figuur 5.10: Invloed snelpleister op minerale wol

Vergelijking soorten pleisters

Figuur 5.11 vergelijkt de verschillende soorten pleisters op het materiaal minerale wol. De verschillende curves vertonen een kleine onderlinge afstand, maar een gelijkaardig verloop. Wool2_MP en Wool3_MP tonen het gemiddelde van de laatste waarden met pleister, aangezien de waarde zonder pleister niet relevant is zoals eerder vermeld. Wool_ZP toont de theoretische kruip van het materiaal, berekend op basis van Wool1. De dynamische stijfheid vertoont een zwakke verspreiding als gevolg van de onzekerheid van de meting (niet-homogeen materiaal). Als gevolg van deze zwakke verspreiding kan afgeleid worden dat minerale wol door geen enkele pleister wordt beïnvloed.



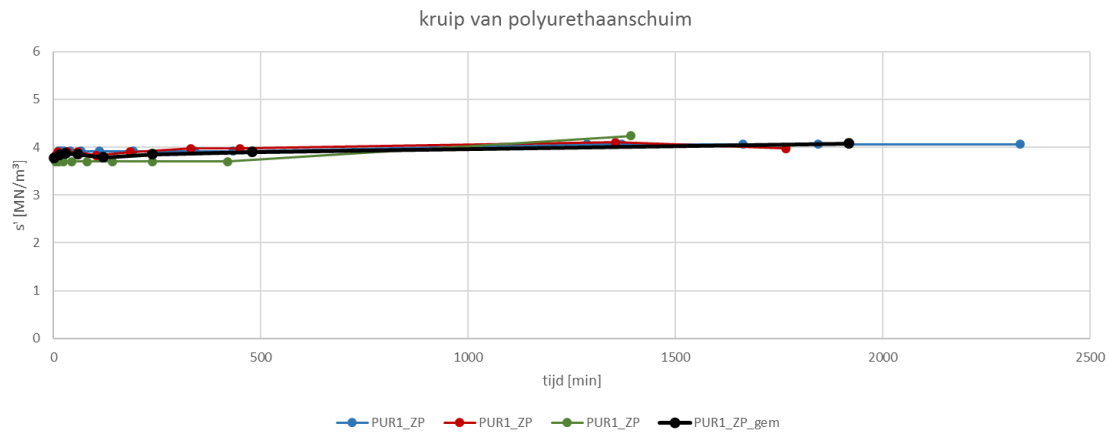
Figuur 5.11: Vergelijking soorten pleisters op minerale wol

Polyurethaanschuim (PUR)

Het geteste materiaal PUR, met een open celstructuur, heeft een dikte van 15 mm en een dichtheid van 82 kg/m^3 . Polyurethaanschuim heeft een resonantiefrequentie die redelijk constant ligt tussen 23 en 25 Hz. De dynamische stijfheid van het materiaal is gelegen rond 4 MN/m^3 , wat resulteert in een elasticiteitsmodulus E van $0,06 \text{ MN/m}^2$.

Door een grote dikte van het isolatiemateriaal in vergelijking met de pleisterlaag (materiaal: 15 mm, pleisterlaag: 2 à 3 mm), zal de invloed van de pleisterlaag beperkt zijn. Het effect van het pleister op het materiaal wordt namelijk bepaald door de som van de soepelheden en niet door de som van de stijfheden van het materiaal en de pleisterlaag.

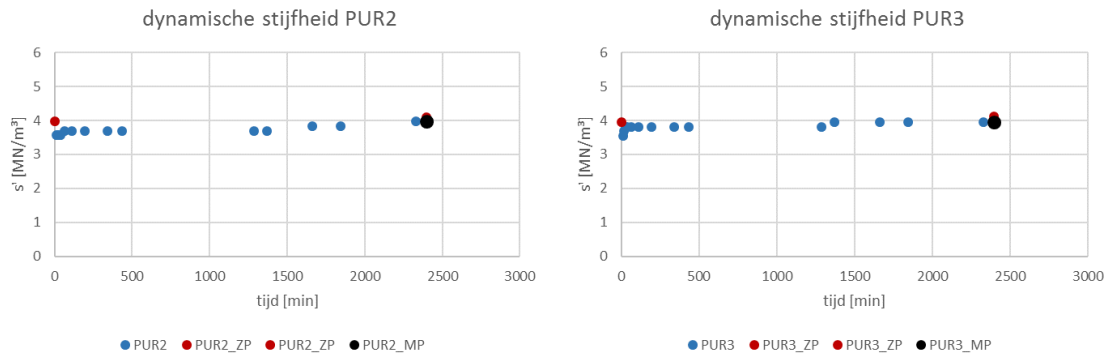
Figuur 5.12 toont de dynamische stijfheid van polyurethaanschuim zonder pleister in functie van de tijd. Van de drie verschillende metingen wordt een gemiddelde genomen, getoond in figuur 5.12 als PUR1_ZP_gem. Deze gemiddelde curve toont dat het materiaal PUR geen schommelingen vertoont in de metingen door de homogeniteit van het materiaal. Daarnaast is er ook zo goed als geen kruip van het materiaal zichtbaar.



Figuur 5.12: Kruip van polyurethaanschuim

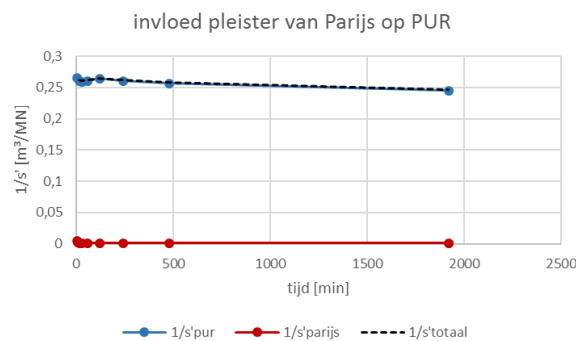
Pleister van Parijs

In onderstaande grafieken wordt de dynamische stijfheid van het materiaal PUR in functie van de droogtijd van de pleister van Parijs weergegeven. Bij toevoeging van de vochtige pleister zal de dynamische stijfheid lichtjes dalen. Dit effect is zichtbaar in figuur 5.13 door het kleine verschil tussen de meting zonder pleister en de eerste meting vlak na het plaatsen van de pleisterlaag. Het verloop van de twee monsters, PUR2 en PUR3, is zo goed als horizontaal zoals het verloop van het materiaal zonder pleister (figuur 5.12). Hieruit kan geconcludeerd worden dat er zeer weinig tot geen invloed is van de pleisterlaag.



Figuur 5.13: Dynamische stijfheid van polyurethaanschuim met pleister van Parijs

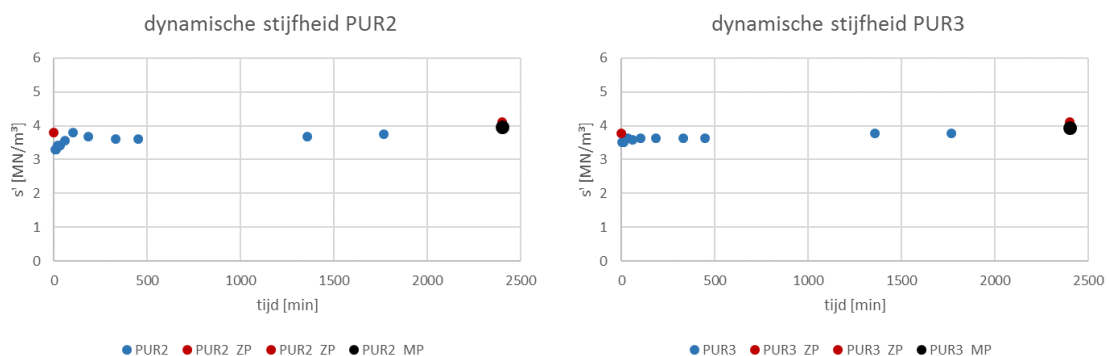
Ook uit figuur 5.14 kan afgeleid worden dat de invloed van pleister van Parijs verwaarloosbaar is, aangezien de curve $1/s'_{\text{totaal}}$ samenvalt met de curve $1/s'_{\text{pur}}$. De dynamische stijfheid van het materiaal met pleister is namelijk nagenoeg gelijk aan deze van het materiaal zonder pleister.



Figuur 5.14: Invloed pleister van Parijs op polyurethaanschuim

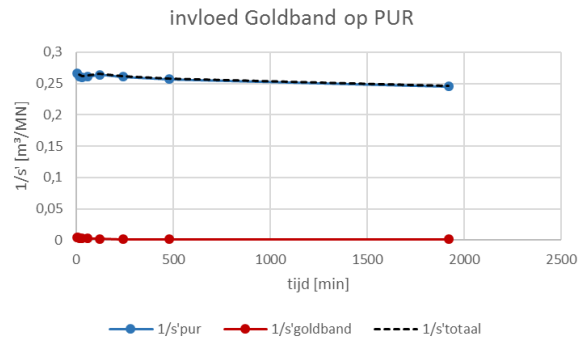
Goldband

Figuur 5.15 toont eenzelfde verloop als deze van de gemiddelde curve van het materiaal zonder pleister (figuur 5.12). Ook hier is er een kleine invloed van de vochtige pleister aan het begin van de meting, maar uiteindelijk is de invloed van de pleisterlaag verwaarloosbaar klein.



Figuur 5.15: Dynamische stijfheid van polyurethaanschuim met Goldband

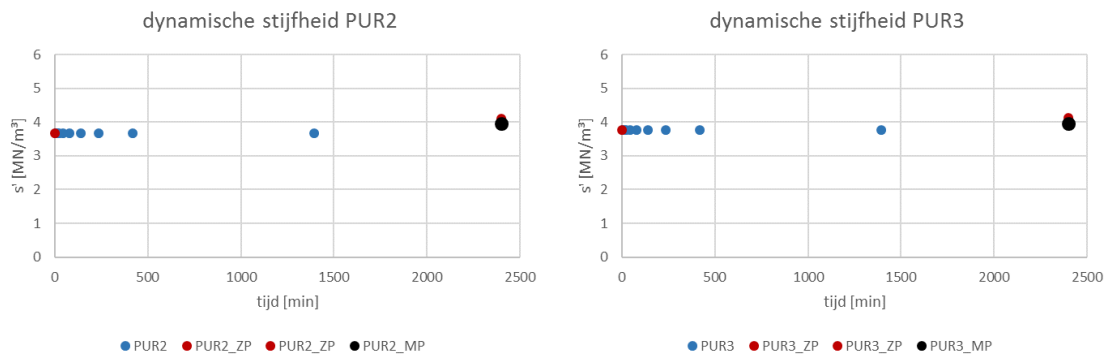
Aangezien de dynamische stijfheid van polyurethaanschuim veel lager ligt dan deze van Goldband is de invloed van de pleisterlaag verwaarloosbaar klein. Deze conclusie kan ook afgelezen worden uit figuur 5.16, aangezien de som van de soepelheden ($1/s'_{\text{totaal}}$) ongeveer gelijk is aan de soepelheid van polyurethaanschuim ($1/s'_{\text{pur}}$).



Figuur 5.16: Invloed Goldband op polyurethaanschuim

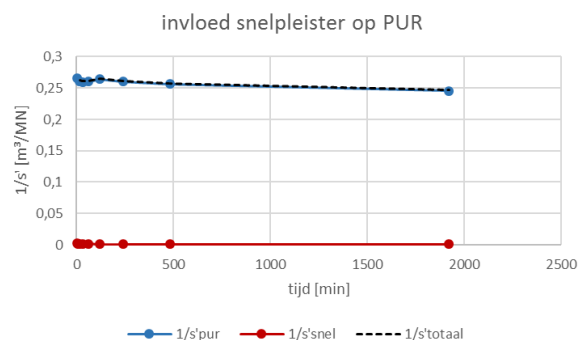
Snelpleister

In figuur 5.17 is zichtbaar dat het verloop van zowel PUR2 als van PUR3 horizontaal is. Ook de metingen zonder pleister aan het begin en het einde van het proces vertonen geen verschil met de meetresultaten met pleister. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de snelpleister geen invloed heeft op het polyurethaanschuim.



Figuur 5.17: Dynamische stijfheid van polyurethaanschuim met snelpleister

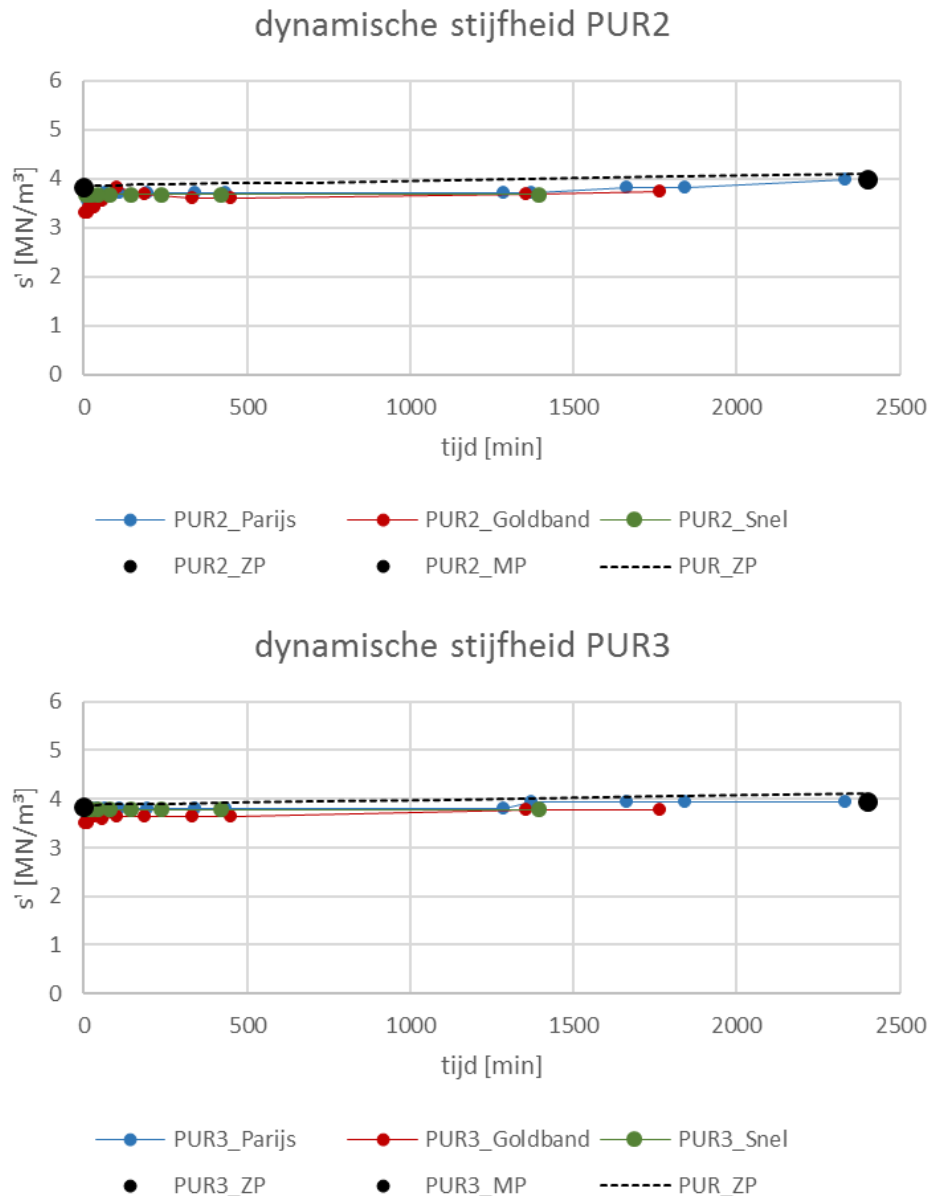
De verwaarloosbare invloed van snelpleister op het polyurethaanschuim wordt ook getoond in figuur 5.18. Ook hier is het grote verschil in dynamische stijfheid tussen het materiaal en de snelpleister zeer duidelijk.



Figuur 5.18: Invloed snelpleister op polyurethaanschuim

Vergelijking soorten pleisters

Met uitzondering van kleine afwijkingen, ligt het verloop van de curves ongeveer gelijk aan deze van de kruipcurve (PUR_ZP), zoals getoond in figuur 5.19. De invloed van de pleisterlaag, onafhankelijk van de pleistersoort, is verwaarloosbaar klein.



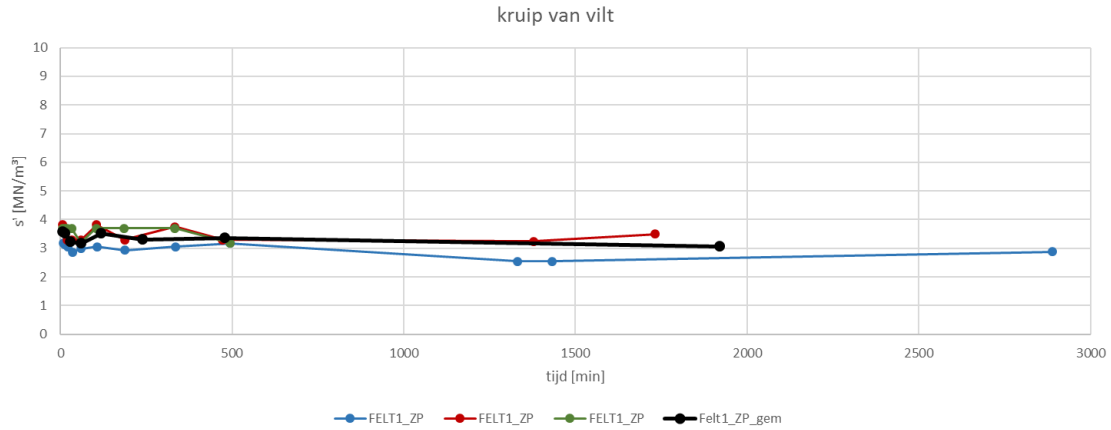
Figuur 5.19: Vergelijking soorten pleisters op polyurethaanschuim

Vilt (Felt)

Het laatste geteste materiaal met een open celstructuur, vilt, heeft een dichtheid van 42 kg/m³ en een dikte van 10 mm. Vilt heeft een resonantiefrequentie die schommelt tussen 20 en 25 Hz en verschilt net zoals minerale wol van staal tot staal. De dynamische stijfheid schommelt tussen 2,5 en 4 MN/m³, waardoor de elasticiteitsmodulus E tussen 0,025 en 0,04 MN/m² ligt.

De invloed van de pleisterlaag zal ook eerder beperkt zijn door het verschil in dikte tussen het materiaal en de pleisterlaag (materiaal: 10mm, pleisterlaag: 2 à 3 mm). Net zoals minerale wol is vilt een heterogeen materiaal, waardoor de positie van het aanslaan een zeer grote invloed heeft op het resultaat van de meting. Er wordt slechts één meting uitgevoerd in plaats van drie op verschillende plaatsen, zoals beschreven in de norm EN 29052-1, waardoor de metingen mogelijks afwijkingen/schommelingen vertonen.

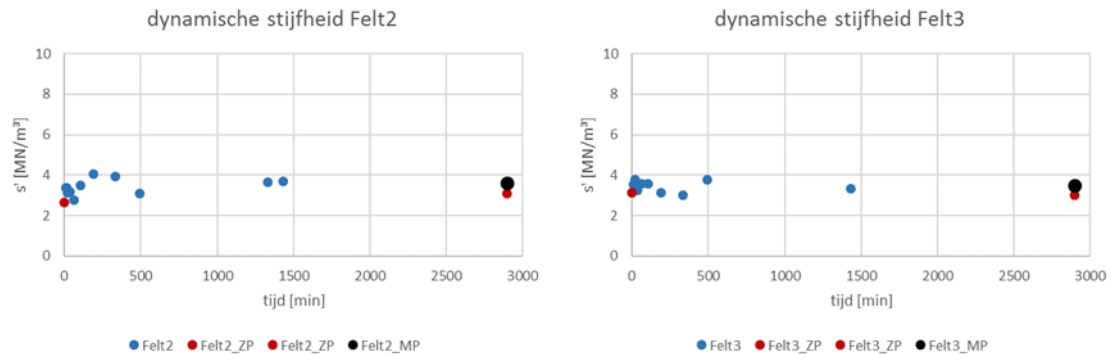
De kruip van het materiaal vilt kan bepaald worden aan de hand van figuur 5.20, die de dynamische stijfheid van de materialen zonder pleister in functie van de tijd weergeeft. Door een gemiddelde curve van de drie metingen te nemen, worden afwijkingen door de heterogeniteit van het materiaal gedeeltelijk weggewerkt. Er vindt nagenoeg geen kruip plaats aangezien het verloop van de curve ongeveer horizontaal is.



Figuur 5.20: Kruip van vilt

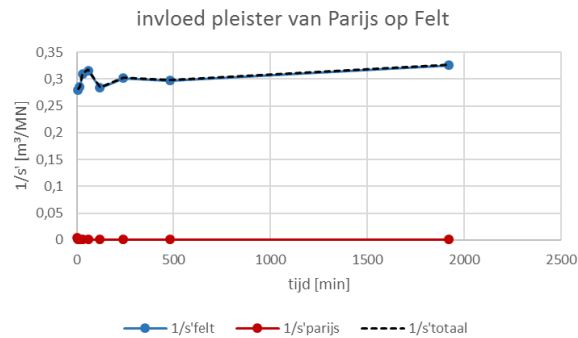
Pleister van Parijs

Onderstaande grafieken tonen de dynamische stijfheid van het materiaal vilt in functie van de droogtijd van pleister van Parijs. Door het verschil in dikte van het materiaal en de pleisterlaag, is de invloed van de pleisterlaag slechts beperkt, maar als gevolg van de heterogeniteit van het materiaal zijn schommelingen zichtbaar in de metingen (figuur 5.21). Door de grote schaal van de verticale as kan weliswaar afgeleid worden dat het verloop redelijk horizontaal is. Hieruit kan aangenomen worden dat de invloed van de pleisterlaag zo goed als verwaarloosbaar is.



Figuur 5.21: Dynamische stijfheid van vilt met pleister van Parijs

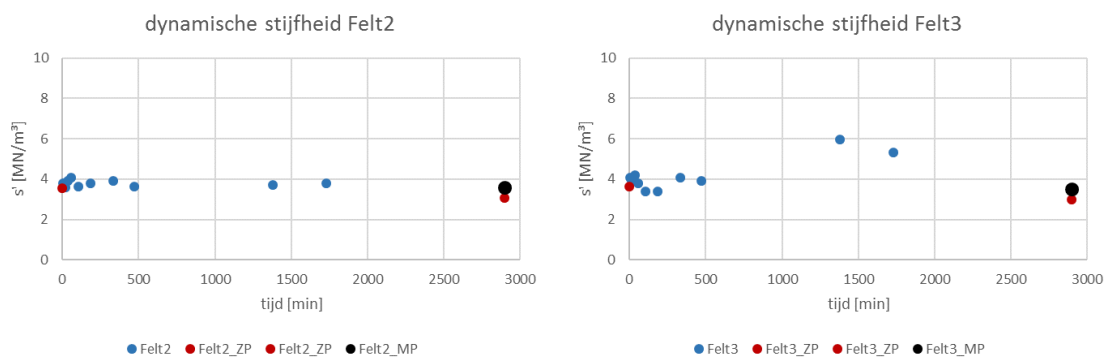
Datzelfde besluit kan getrokken worden uit figuur 5.22, waar de soepelheid van het materiaal met de pleisterlaag zo goed als gelijk is aan deze van het materiaal alleen.



Figuur 5.22: Invloed pleister van Parijs op vilt

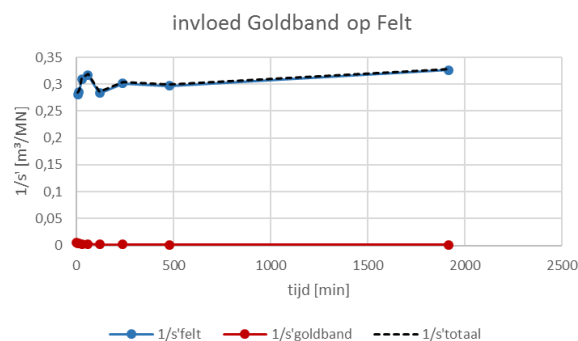
Goldband

Onderstaande grafiek toont dat de invloed van Goldband op het materiaal vilt zo goed als verwaarloosbaar is. In figuur 5.23 zijn twee uitschieters zichtbaar in de metingen van Felt3, waardoor we deze laatste metingen verwaarlozen voor de analyse. Wanneer deze twee meetresultaten geëlimineerd worden, vertoont Felt3 een zo goed als horizontaal verloop zoals Felt2. Uit deze analyse blijkt dat de invloed van de pleisterlaag ook hier verwaarloosbaar is.



Figuur 5.23: Dynamische stijfheid van vilt met Goldband

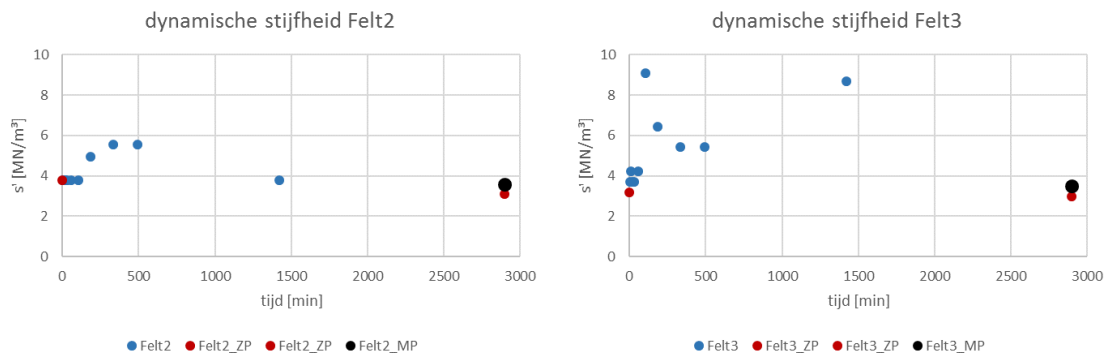
Door het grote verschil in dynamische stijfheid tussen vilt en Goldband wordt in figuur 5.24 ook duidelijk dat Goldband zo goed als geen invloed heeft op het materiaal.



Figuur 5.24: Invloed Goldband op vilt

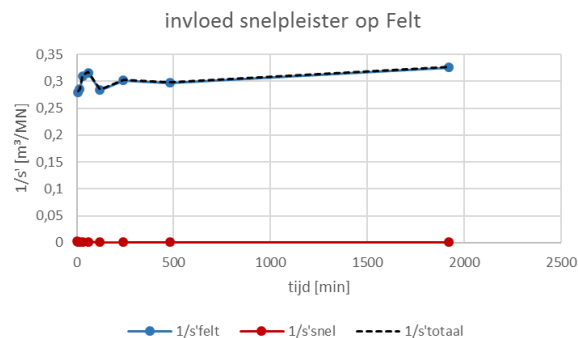
Snelpleister

Uit figuur 5.25 kan allereerst afgeleid worden dat er twee grote uitschieters aanwezig zijn bij Felt3, namelijk op 104 en op 1423 min. Felt2 vertoont daarnaast een horizontaal verloop aan het begin van de meting, waarna er een eigenaardige stijging plaatsvindt. Felt2 eindigt uiteindelijk op dezelfde waarde als aan het begin van de meting. Aangezien de invloed van pleister op het materiaal vilt redelijk klein tot zelfs verwaarloosbaar is, wordt er eerder een horizontaal verloop van Felt2 en Felt3 verwacht. Op deze manier zou het verloop dan ongeveer samenvallen met deze van de gemiddelde curve van het materiaal zonder pleister (figuur 5.20).



Figuur 5.25: Dynamische stijfheid van vilt met snelpleister

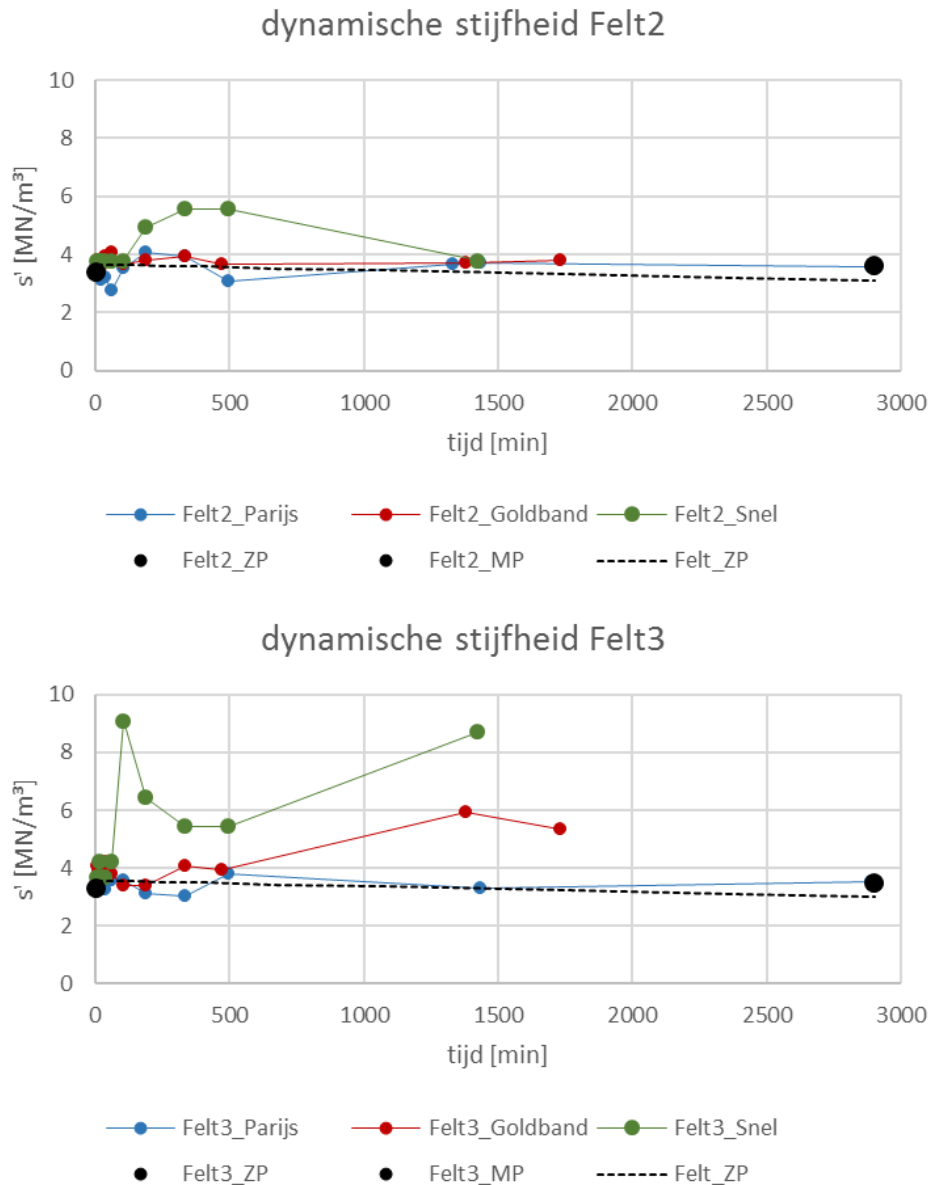
Zoals in figuur 5.22 en figuur 2.24 is ook de verwaarloosbare invloed van snelpleister zichtbaar in figuur 5.26.



Figuur 5.26: Invloed snelpleister op vilt

Vergelijking soorten pleisters

In figuur 5.27 zijn de afwijkingen van de curves van het materiaal vilt met snelpleister duidelijk zichtbaar. Er wordt eerder verwacht dat de meetresultaten zouden schommelen rond dezelfde waarde, zodat een horizontaal verloop wordt bekomen.



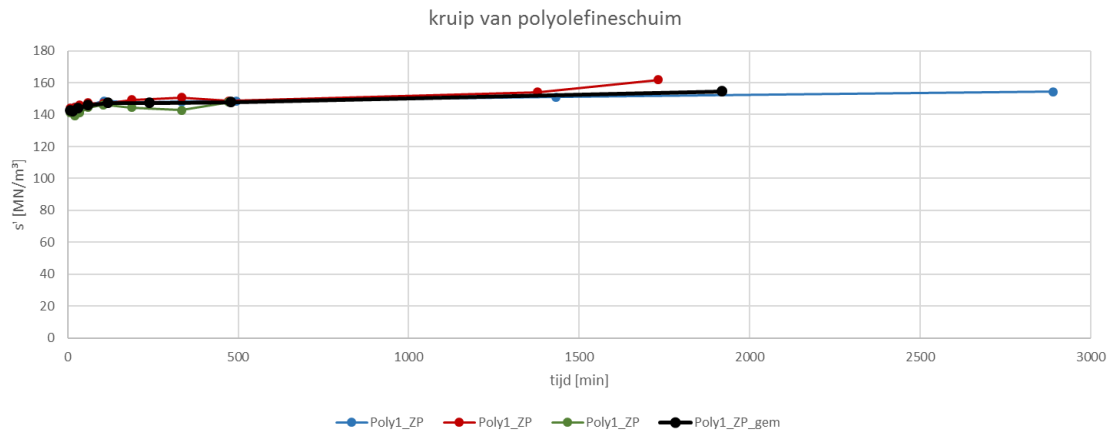
Figuur 5.27: Vergelijking soorten pleisters op vilt

Polyolefineschuim (Poly)

Het geteste materiaal polyolefineschuim, met gesloten celstructuur, heeft een dikte van 15 mm en een dichtheid van 30 kg/m^3 . De resonantiefrequentie van polyolefineschuim is gelegen tussen 135 en 145 Hz. Het materiaal heeft een dynamische stijfheid die gelegen is tussen 140 en 160 MN/m^3 , wat leidt tot een elasticiteitsmodulus E tussen 2,1 en $2,4 \text{ MN/m}^2$.

Polyolefineschuim is een materiaal met een relatief grote stijfheid ten gevolge van de ingesloten lucht, zoals reeds wordt toegelicht in de literatuurstudie. Zonder pleisterlaag is het materiaal niet gevoelig voor de evolutie in de tijd, zoals zichtbaar in figuur 5.28. De gemiddelde curve van de drie metingen op het materiaal zonder pleister vertoont namelijk een zo goed als horizontaal verloop. Wanneer een pleisterlaag wordt aangebracht, wordt verwacht dat aan het begin van de meting enkel de dynamische

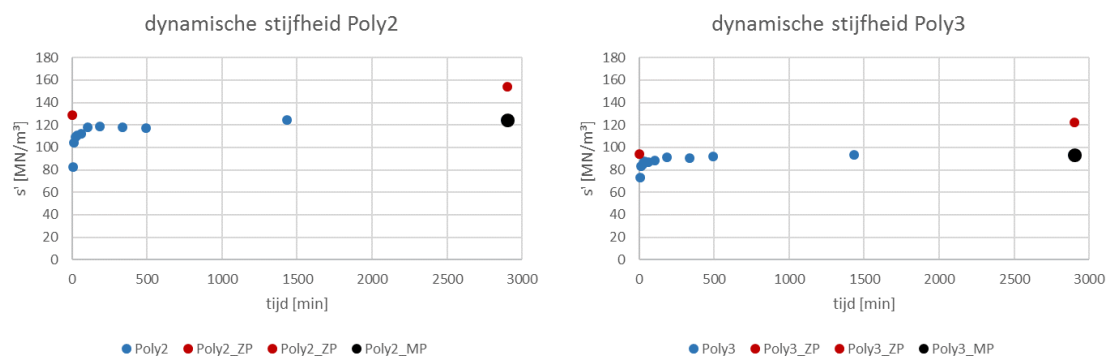
stijfheid van de pleisterlaag gemeten wordt. Na uitharding van de pleisterlaag, zal enkel nog de stijfheid van de ingesloten lucht gemeten worden.



Figuur 5.28: Kruip van polyolefineschuim

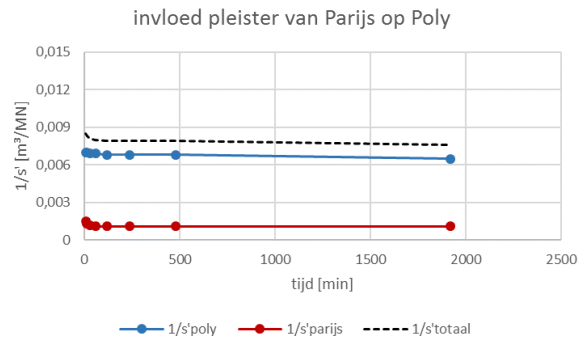
Pleister van Parijs

Figuur 5.29 toont duidelijk het gedrag dat eerder wordt toegelicht. Na toepassing van de pleisterlaag daalt de dynamische stijfheid met ongeveer 40 MN/m³ als gevolg van de invloed van de vochtige pleister. Dit effect is zichtbaar in figuur 5.29 door het grote afstandsverschil tussen de meting zonder pleister (Poly2_ZP) aan het begin van het proces en de eerste meting met pleister. Aan het begin van de meting is een grote stijging zichtbaar van Poly2 en Poly3, wat de invloed van de pleister van Parijs toont. Al vrij snel is een horizontaal verloop zichtbaar dat te vergelijken is met de gemiddelde curve van het materiaal zonder pleister (figuur 5.28). Dit horizontaal verloop toont de stijfheid van de ingesloten lucht alleen, aangezien de pleisterlaag hier geen invloed meer heeft. De afstand tussen de laatste meting met pleister en de meting zonder pleister aan het einde van het proces (Poly2_ZP/Poly3_ZP) is ook slechts beperkt.



Figuur 5.29: Dynamische stijfheid van polyolefineschuim met pleister van Parijs

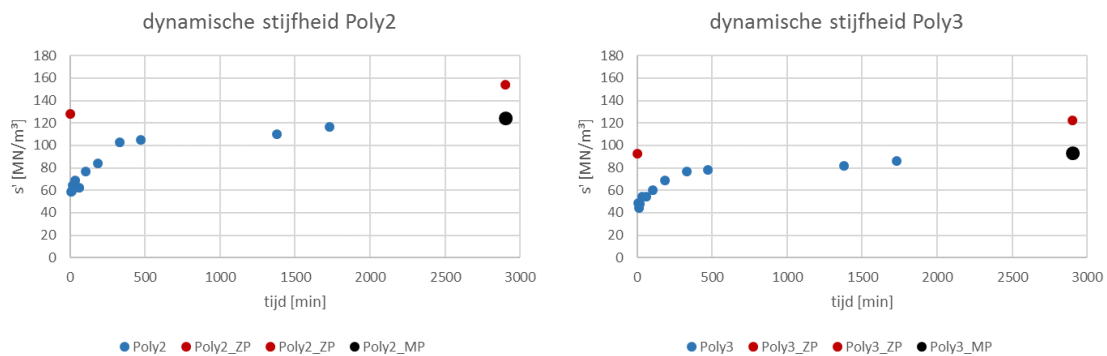
De invloed van pleister van Parijs is ook duidelijk zichtbaar in figuur 5.30. Waar de dynamische stijfheid aan het begin van de meting nog redelijk klein is en minder verwijderd van deze van polyolefineschuim, is de invloed van de pleister groter. In figuur 5.30 is deze invloed zichtbaar doordat de afstand tussen de soepelheid van pleister van Parijs ($1/s'_{\text{parijs}}$) en deze van polyolefineschuim ($1/s'_{\text{poly}}$) aan het begin van de meting kleiner is dan in het verder verloop van de meting. Vervolgens stijgt de dynamische stijfheid van de pleister en bijgevolg daalt de soepelheid, waardoor de invloed van de pleisterlaag steeds kleiner wordt.



Figuur 5.30: Invloed pleister van Parijs op polyolefineschuim

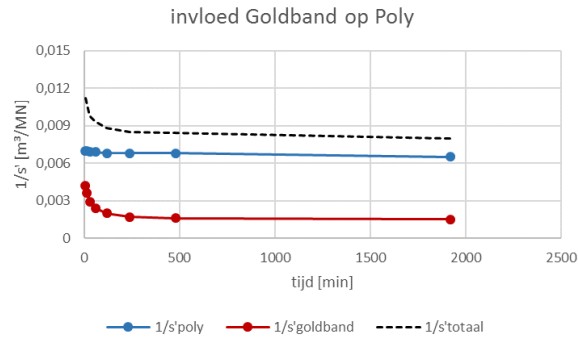
Goldband

Zoals eerder vermeld is de uithardingstijd van Goldband groter dan deze van pleister van Parijs, wat duidelijk zichtbaar is bij vergelijking van figuur 5.31 met figuur 5.29. De helling van Poly2 en Poly3 aan het begin is namelijk vlakker bij gebruik van Goldband. Na uitharding van de pleisterlaag wordt hetzelfde gedrag opgemerkt en wordt ook hier enkel de stijfheid van het polyolefineschuim gemeten. De invloed van de vochtige pleister is zeer groot, er is namelijk een verschil van ongeveer 60 MN/m³ tussen de meting zonder pleister aan het begin van het proces en de eerste meting met pleister. Aan het einde van het proces is een kleiner verschil in dynamische stijfheid zichtbaar na het verwijderen van de pleister.



Figuur 5.31: Dynamische stijfheid van polyolefineschuim met Goldband

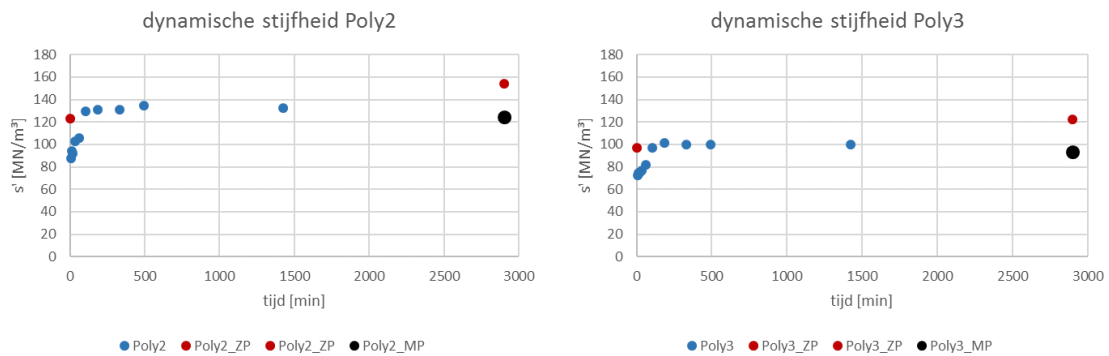
Aangezien de stijging van de dynamische stijfheid van Goldband langzamer verloopt, is de invloed op polyolefineschuim groter en van langere duur in vergelijking met pleister van Parijs. Dit is zichtbaar door de hellingen uit figuur 5.32 en figuur 5.30 met elkaar te vergelijken. De helling van de curve van de soepelheid van Goldband $1/s'_{\text{goldband}}$ (figuur 5.32) is vlakker dan deze van de curve van de soepelheid van pleister van Parijs $1/s'_{\text{parijs}}$ (figuur 5.30). Daardoor is de helling van de curve van de som van de soepelheden $1/s'_{\text{totaal}}$ in figuur 5.32 vlakker en wordt polyolefineschuim langer beïnvloed door Goldband.



Figuur 5.32: Invloed Goldband op polyolefineschuim

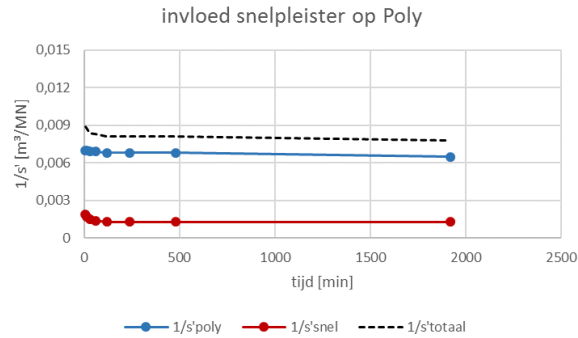
Snelpleister

Uit figuur 5.33 kan afgeleid worden dat snelpleister slechts invloed heeft over een zeer beperkte periode als gevolg van de korte droogtijd van snelpleister. De helling van Poly2 en Poly3 is nagenoeg gelijk aan deze van Poly2 en Poly3 met toepassing van pleister van Parijs (figuur 5.29). In het verder verloop van de metingen heeft de pleisterlaag geen invloed meer, wat zichtbaar is door het horizontale verloop van Poly2 en Poly3. De invloed van de vochtige pleister is ongeveer gelijk aan deze bij gebruik van pleister van Parijs (figuur 5.29).



Figuur 5.33: Dynamische stijfheid van polyolefineschuim met snelpleister

De dynamische stijfheid van snelpleister ligt een klein beetje lager dan deze van pleister van Parijs. Daardoor is de invloed van snelpleister op polyolefineschuim iets groter dan de invloed van pleister van Parijs. Bij vergelijking van figuur 5.34 met figuur 5.30 is deze invloed bijna niet zichtbaar. De som van de soepelheden $1/s'_{\text{totaal}}$ in figuur 5.34 ligt net iets hoger dan deze in figuur 5.30 als gevolg van de iets grotere invloed. De helling van de curve $1/s'_{\text{snel}}$ en bijgevolg ook deze van de curve $1/s'_{\text{totaal}}$ in figuur 5.34 is nagenoeg gelijk aan deze uit figuur 5.30.



Figuur 5.34: Invloed snelpleister op polyolefineschuim

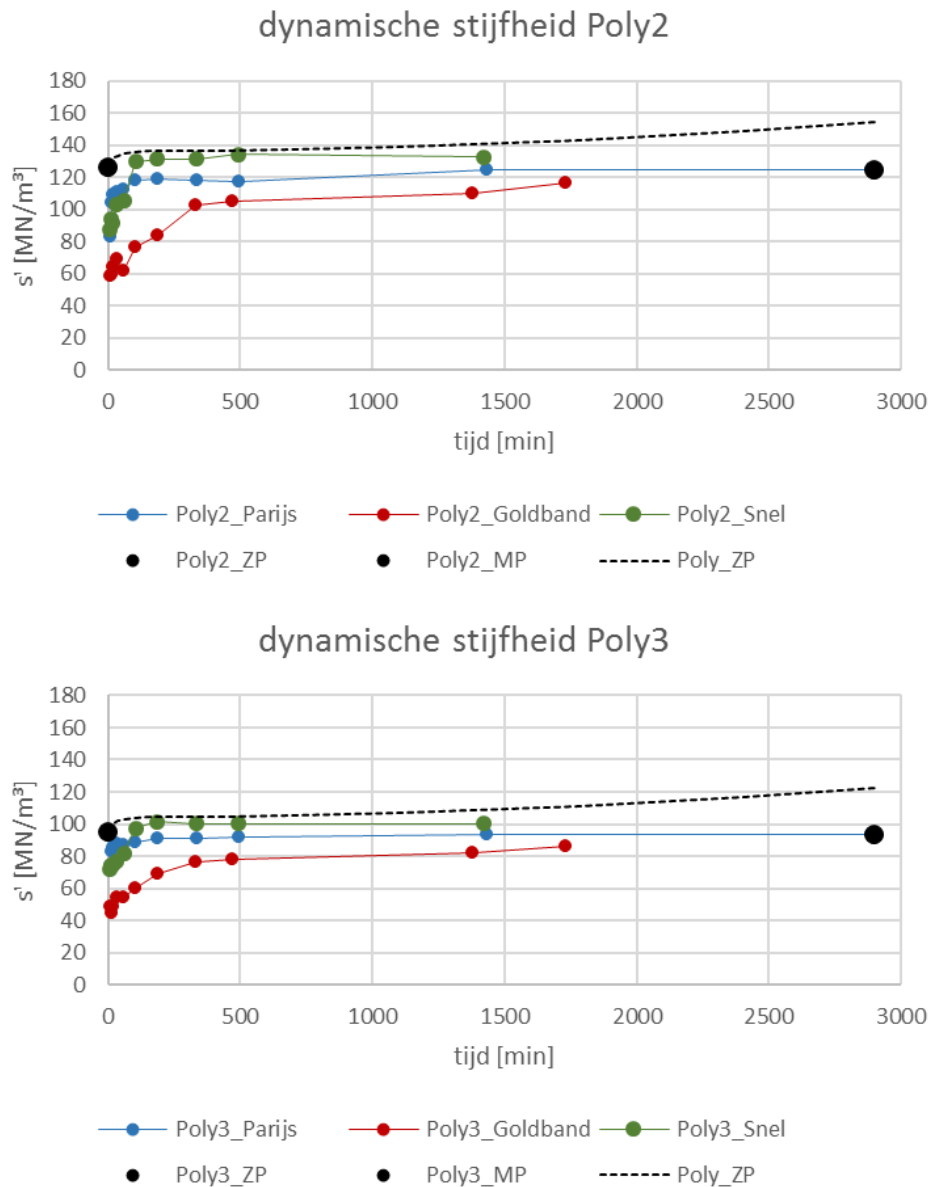
Vergelijking soorten pleisters

In figuur 5.35 wordt de vergelijking van de verschillende soorten pleisters op het materiaal polyolefineschuim getoond. De helling van de curve van het materiaal met Goldband is vlakker dan deze van het materiaal met de andere soorten pleisters. De hellingen van de curven van polyolefineschuim met pleister van Parijs en met snelpleister zijn ongeveer gelijk aan elkaar. Na een bepaalde periode, afhankelijk van het soort pleister, verlopen alle curves horizontaal. Er kan geconcludeerd worden dat er een grote beïnvloeding is van de pleisterlaag op polyolefineschuim aan het begin van de metingen. De periode waarin de pleisterlaag invloed heeft op het materiaal is afhankelijk van de meetnauwkeurigheid van het materiaal. Door slechts kleine afwijkingen van de meetresultaten, kan de beïnvloedingsduur op dit materiaal benaderd worden met volgende formule:

$$s'_{pleister} < 7s'_{product}$$

Een uitgebreide bepaling van deze waarde, samen met de uithardingstijd van de verschillende pleisters is terug te vinden in bijlage 7.

Aangezien de stijfheid van Goldband heel wat lager ligt dan deze van pleister van Parijs en snelpleister, is de beïnvloeding van Goldband op het materiaal polyolefineschuim van langere duur. Vandaar dat de helling van de curves Poly2_Goldband en Poly3_Goldband vlakker zijn aan het begin van de meting (figuur 5.35).

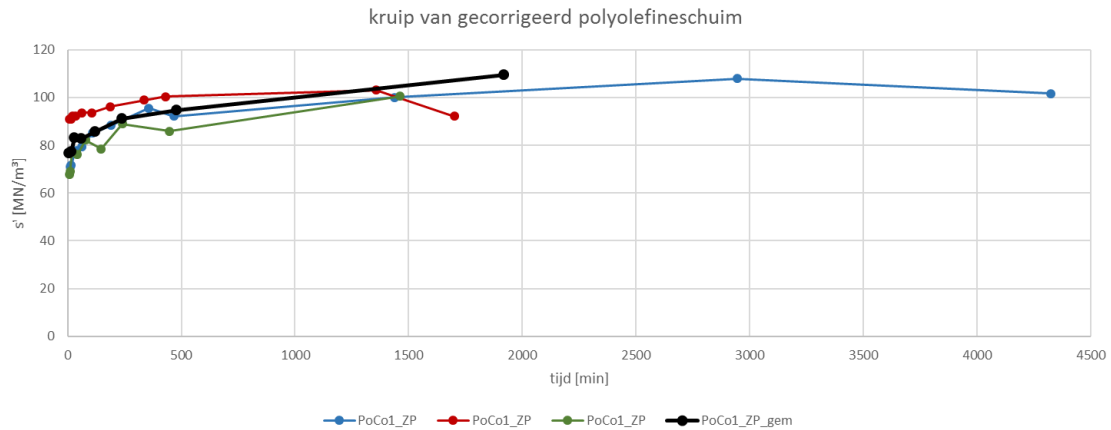


Figuur 5.35: Vergelijking soorten pleisters op polyolefineschuim

Gecorrigeerd polyolefineschuim (PoCo)

Het materiaal polyolefineschuim met een gecorrigeerd oppervlak en een gesloten celstructuur, heeft een dichtheid van 58 kg/m^3 en een dikte van $3,5 \text{ mm}$. Dit polyolefineschuim heeft een resonantiefrequentie gelegen tussen 90 en 120 Hz . De dynamische stijfheid verschilt per staal en ligt ongeveer tussen 70 en 110 MN/m^3 , waardoor de elasticiteitsmodulus E tussen $0,315$ en $0,42 \text{ MN/m}^2$ ligt.

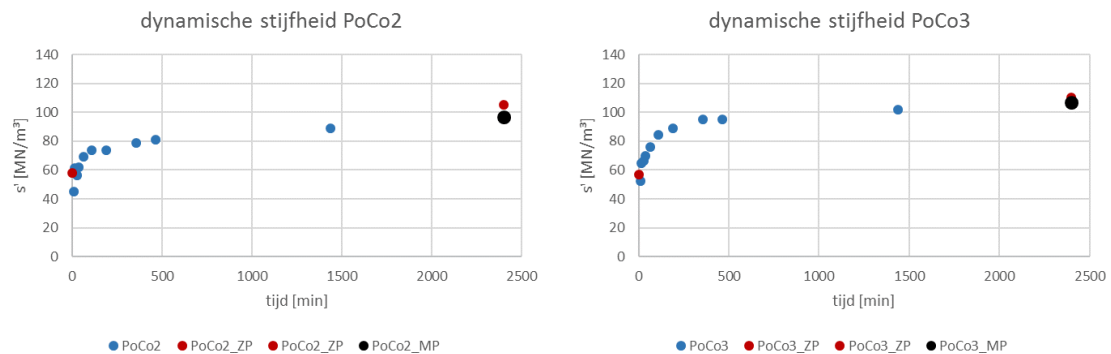
Polyolefineschuim heeft een gegolfd oppervlak, waardoor het contactoppervlak onderaan het materiaal, als gevolg van een aanhoudende belasting, steeds groter wordt. De evolutie van de dynamische stijfheid in de tijd is daarom meer het gevolg van de verandering van het materiaal, dan door de invloed van de pleisterlaag. Deze evolutie in de tijd wordt weergegeven in figuur 5.36 door de gemiddelde curve, PoCo1_ZP_gem, van de drie metingen op het materiaal zonder pleisterlaag.



Figuur 5.36: Kruip van gecorrigeerd polyolefineschuim

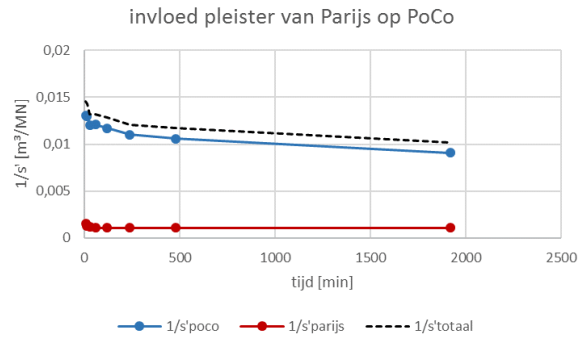
Pleister van Parijs

Figuur 5.37 toont de kleine invloed van de pleisterlaag aan het begin van de meting, maar al snel volgen PoCo2 en PoCo3 het verloop van de gemiddelde curve van het materiaal zonder pleister (figuur 5.36). De stijging van de curves is grotendeels het gevolg van de vergroting van het contactoppervlak van het materiaal bij aanhoudende belasting. De vochtige pleisterlaag heeft een kleine invloed op het materiaal, getoond door de daling van de dynamische stijfheid ten gevolge van het aanbrengen van de pleisterlaag aan het begin van het proces.



Figuur 5.37: Dynamische stijfheid van gecorrigeerd polyolefineschuim met pleister van Parijs

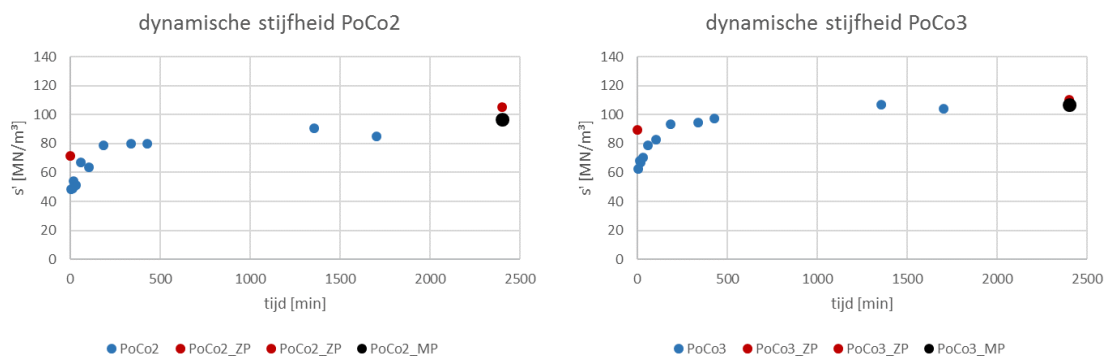
In figuur 5.38 is de kleine invloed van de pleister van Parijs aan het begin van de meting duidelijk zichtbaar. De grootste stijging van de dynamische stijfheid en bijgevolg de grote daling van de soepelheid, is namelijk het gevolg van het gedrag van het gecorrigeerd polyolefineschuim. Met uitzondering van de korte, steile daling aan het begin van de curve $1/s'_{\text{totaal}}$, volgt deze curve het verloop van de curve $1/s'_{\text{poco}}$.



Figuur 5.38: Invloed pleister van Parijs op gecorrigeerd polyolefineschuim

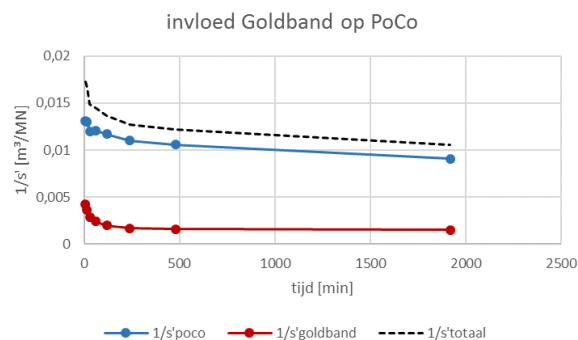
Goldband

In figuur 5.39 wordt aan het einde van de metingen hetzelfde verloop gevolgd als dat van de gemiddelde curve van het materiaal zonder pleister (figuur 5.36). Aan het begin van de meting is wel een duidelijke invloed van de pleisterlaag aanwezig. De dynamische stijfheid daalt na het aanbrengen van de pleisterlaag, waarna een stijging van de dynamische stijfheid zichtbaar is. Het vergelijken van figuur 5.39 en figuur 5.37 toont dat het effect van Goldband over een langere periode aanwezig is.



Figuur 5.39: Dynamische stijfheid van gecorrigeerd polyolefineschuim met Goldband

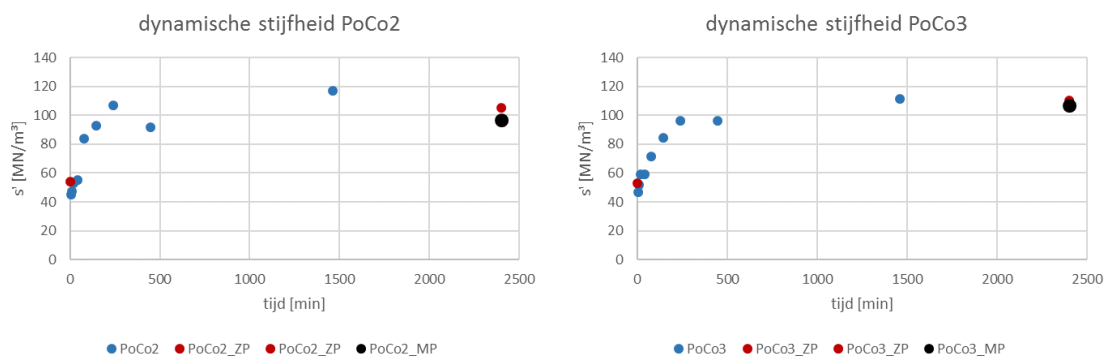
De langere duur van de beïnvloeding van Goldband wordt in figuur 5.40 getoond door de steilere daling van de curve van de som van de soepelheden $1/s'_{\text{totaal}}$ ten opzichte van deze in figuur 5.38. De tragere uithardingstijd van Goldband zorgt aldus voor een langere beïnvloeding alvorens de soepelheid volledig wordt bepaald door het effect van het materiaal zelf.



Figuur 5.40: Invloed Goldband op gecorrigeerd polyolefineschuim

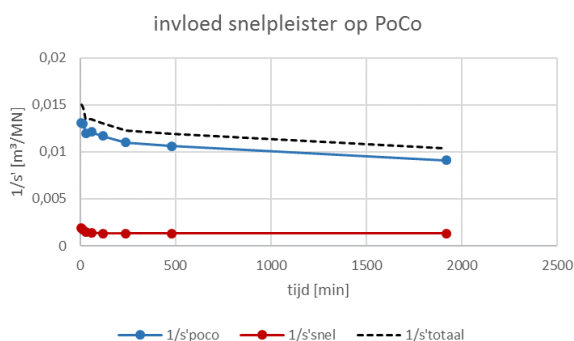
Snelpleister

In figuur 5.41 is de invloed van de pleisterlaag aan het begin van de meting duidelijk, terwijl vervolgens het effect van de werking van het materiaal dominerend is. De stijging van de dynamische stijfheid is te vergelijken met deze van het materiaal met pleister van Parijs (figuur 5.37).



Figuur 5.41: Dynamische stijfheid van gecorrigeerd polyolefineschuim met snelpleister

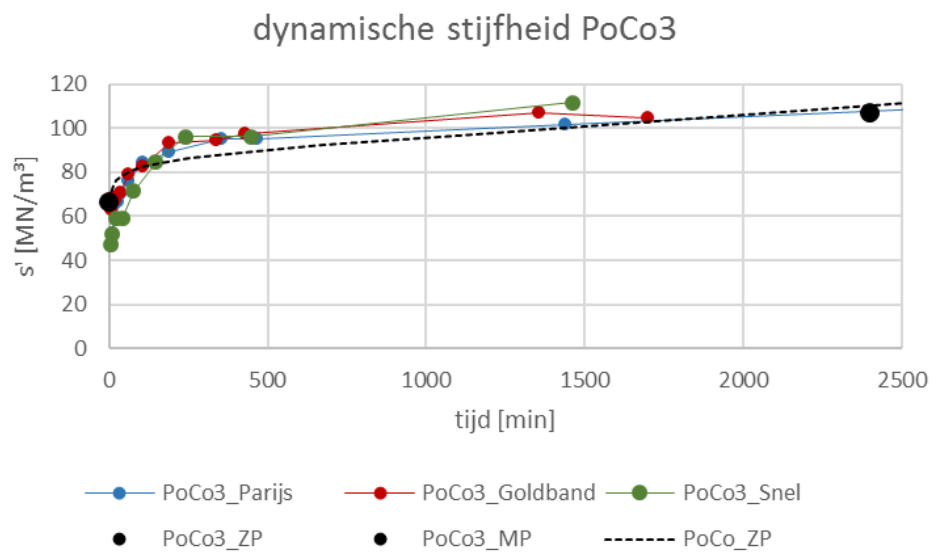
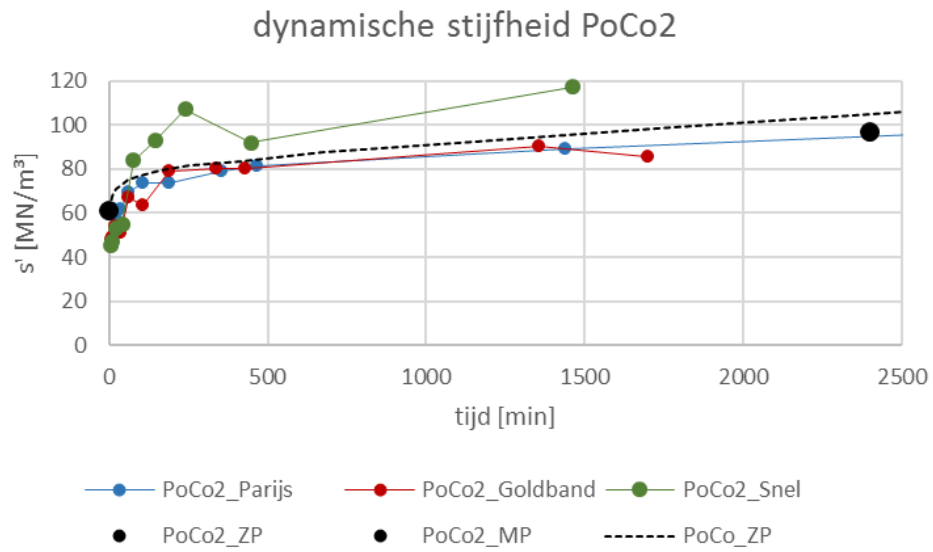
Figuur 5.42 is nagenoeg gelijk aan figuur 5.38, doordat de dynamische stijfheid van snelpleister weinig verschilt met deze van pleister van Parijs. Zoals ook zichtbaar in figuur 5.38 en figuur 5.40 is het effect van de werking van het materiaal de belangrijkste beïnvloeding op de soepelheid. De invloed van de snelpleister is hier ook zeer beperkt en slechts merkbaar in de beginperiode van de meting.



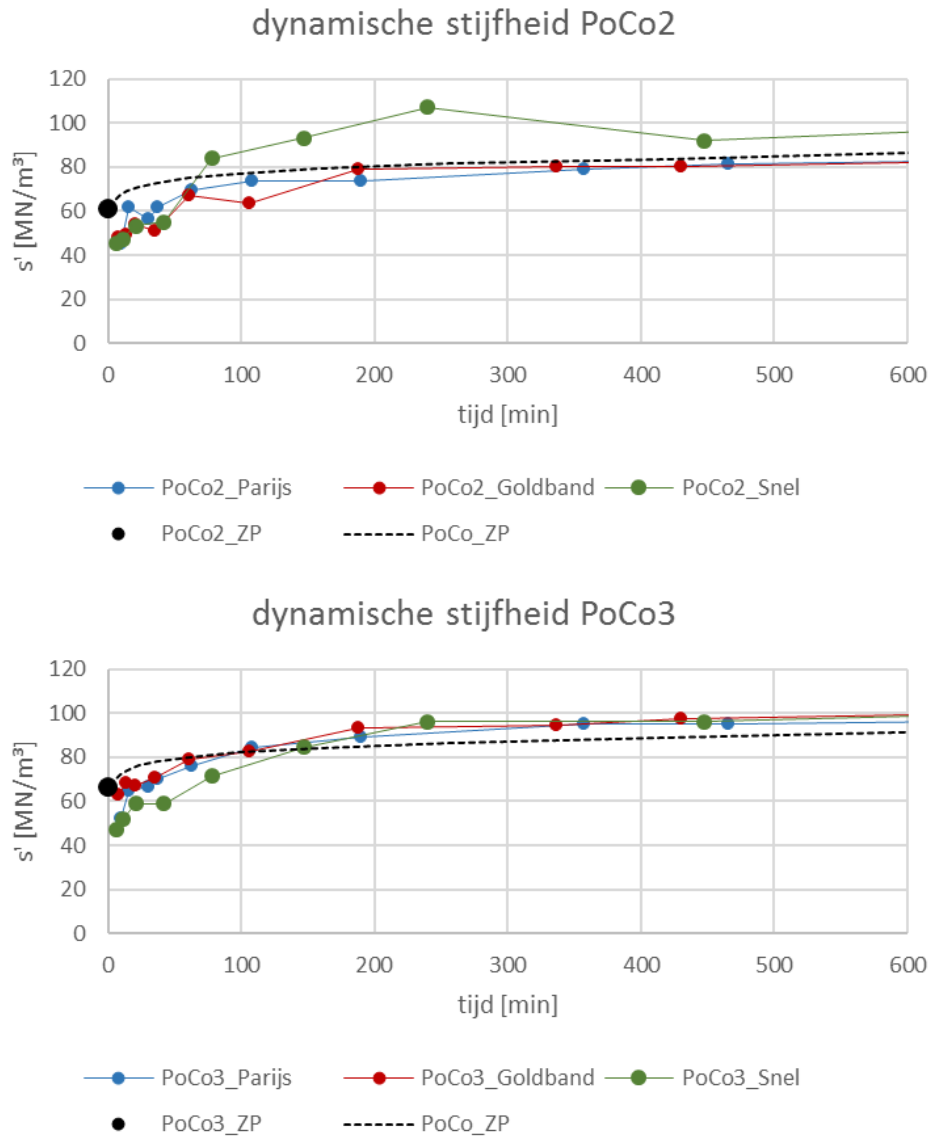
Figuur 5.42: Invloed snelpleister op gecorrigeerd polyolefineschuim

Vergelijking soorten pleisters

Aangezien de grafieken van de dynamische stijfheid van gecorrigeerd polyolefineschuim met verschillende soorten pleisters (figuur 5.43) zo kort op elkaar gelegen zijn, wordt een uitvergroting gemaakt van de beginperiode (figuur 5.44). In figuur 5.44 wordt duidelijk dat er weinig verschil is in dynamische stijfheid tussen de verschillende soorten pleisters. De verschillende uithardingstijden van de pleisters zijn bijna niet zichtbaar bij toepassing op gecorrigeerd polyolefineschuim, aangezien het effect van de werking van het materiaal dominerend is (PoCo_ZP). De invloed van pleister op gecorrigeerd polyolefineschuim is hierdoor zeer beperkt. De dynamische stijfheid van de pleisterlaag bereikt namelijk al snel het negenvoud van de dynamische stijfheid van het product ($s'_{pleister} < 9s'_{product}$). De bepaling van deze factor en de uithardingstijd van de pleisters is terug te vinden in bijlage 7.



Figuur 5.43: Vergelijking soorten pleisters op gecorrigeerd polyolefineschuim

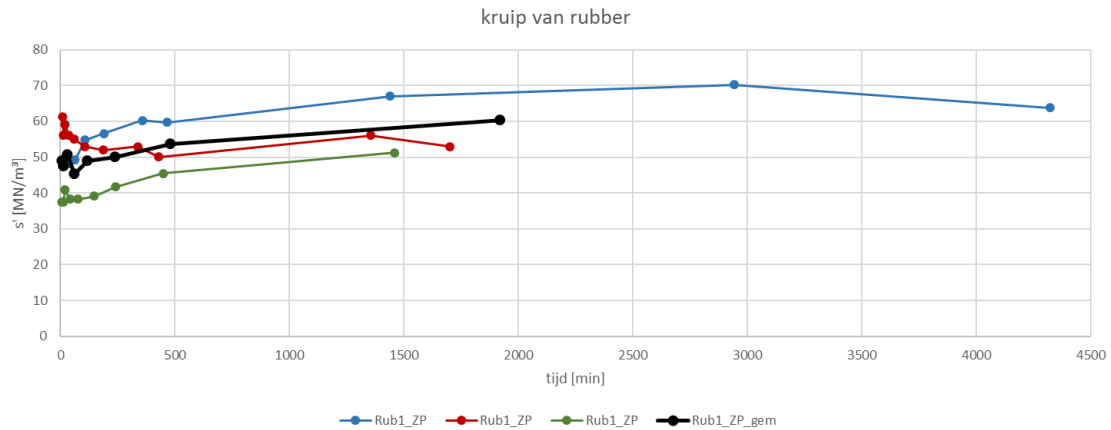


Figuur 5.44: Vergelijking soorten pleisters op gecorrigeerd polyolefineschuim (uitvergroot)

Rubber (Rub)

Het geteste materiaal rubber, met een gesloten celstructuur, heeft een dikte van 5 mm en een dichtheid van 543 kg/m^3 . Het materiaal heeft een resonantiefrequentie gelegen tussen 75 en 95 Hz, verschillend van staal tot staal. De dynamische stijfheid is gelegen tussen 45 en 60 MN/m^3 , resulterend in een elasticiteitsmodulus E gelegen tussen 0,225 en $0,3 \text{ MN/m}^2$.

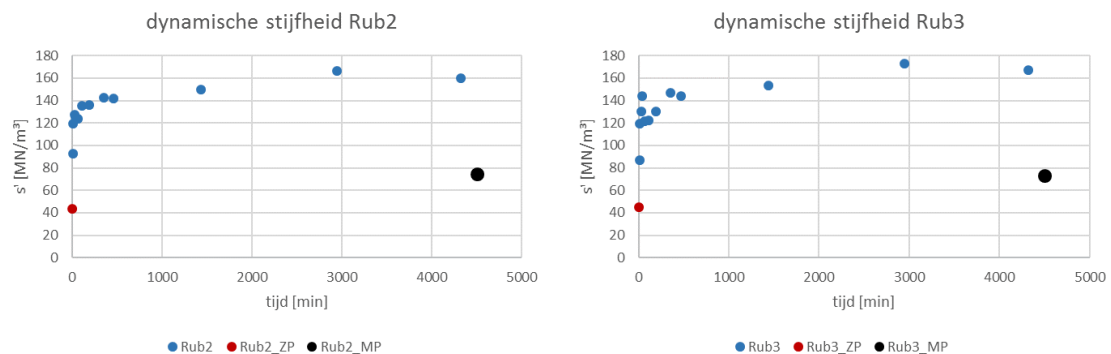
Rubber met toevoeging van een pleisterlaag vertoont een veel grotere stijfheid dan het materiaal zonder pleisterlaag. Rubber zonder pleisterlaag heeft een kleiner contactoppervlak met de stalen plaat; het contact is bijna punctueel. Door toevoeging van de pleisterlaag wordt dit contactoppervlak verhoogd, waardoor de dynamische stijfheid van het product met pleister heel wat hoger ligt. Kruip bij rubber zonder pleisterlaag is redelijk beperkt, zoals weergegeven door de gemiddelde curve van de drie metingen zonder pleisterlaag in figuur 5.45.



Figuur 5.45: Kruip van rubber

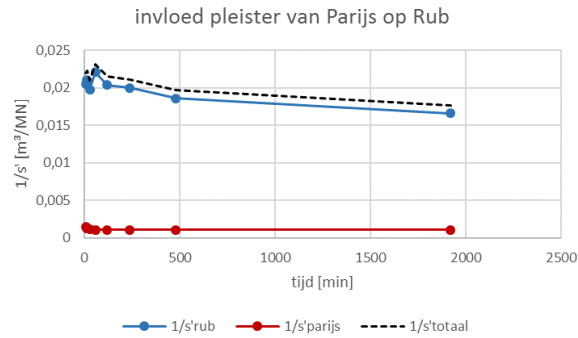
Pleister van Parijs

In figuur 5.46 is duidelijk dat de pleister van Parijs enkel invloed heeft aan het begin van de meting. De vochtige pleisterlaag zorgt voor een grote stijging van de dynamische stijfheid zoals eerder wordt toegelicht. Na het droogproces van de pleisterlaag vertonen Rub2 en Rub3 nagenoeg hetzelfde verloop als de gemiddelde curve van de metingen zonder pleister (figuur 5.45). Na verwijdering van de pleisterlaag daalt de dynamische stijfheid terug als gevolg van de invloed van de ingesloten lucht. Het contactoppervlak verkleint door verwijdering van de pleisterlaag, waardoor de dynamische stijfheid terug daalt. Dit effect zien we door het afstandsverschil tussen de laatste meting met pleister en Rub2_MP/Rub3_MP. Rub2_MP en Rub3_MP zijn in figuur 5.46 niet het gemiddelde van de laatste metingen met pleister, aangezien de stijfheid van het product niet wordt gemeten. Doordat de pleisterlaag leidt tot het insluiten van lucht in het materiaal, wordt enkel de stijfheid van deze lucht gemeten in plaats van de stijfheid van het product. Bijgevolg wordt de waarde voor Rub2_MP en Rub3_MP theoretisch bepaald aan de hand van de eindwaarde van het kruipprofiel (figuur 5.45).



Figuur 5.46: Dynamische stijfheid van rubber met pleister van Parijs

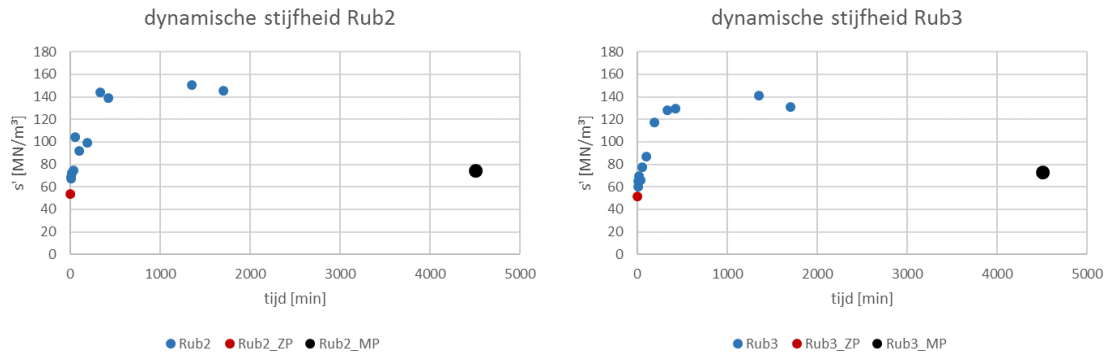
De invloed van de pleisterlaag is niet duidelijk zichtbaar in figuur 5.47, aangezien het effect van het vergroot contactoppervlak het gevolg is van de toevoeging van de pleisterlaag. Dit effect kan bijgevolg niet voorspeld worden door de som van de soepelheden van rubber en pleister te nemen, omdat het effect niet vervat zit in één van de curves, maar het gevolg is van hun samenwerking.



Figuur 5.47: Invloed pleister van Parijs op rubber

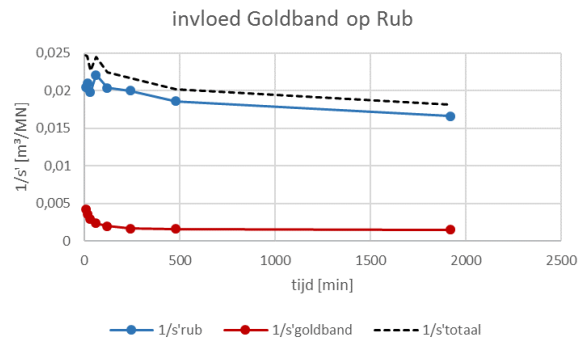
Goldband

Net zoals de metingen met pleister van Parijs is het in figuur 5.48 zichtbaar dat Goldband enkel invloed heeft aan het begin van de meting. In deze periode is het verloop van Rub2 en Rub3 met pleister van Parijs (figuur 5.46) steiler dan deze van de metingen met Goldband (figuur 5.48). De invloed van Goldband over een langere periode is het gevolg van de langere uithardingstijd van Goldband. Ook toont figuur 5.48 hetzelfde gedrag van het materiaal met toepassing van de pleisterlaag zoals reeds wordt toegelicht.



Figuur 5.48: Dynamische stijfheid van rubber met Goldband

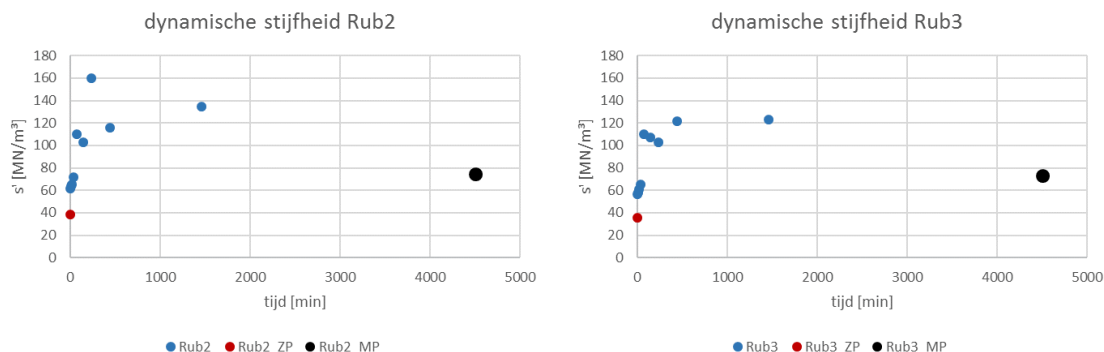
In figuur 5.49 is ook zichtbaar dat Goldband over een langere periode invloed heeft dan pleister van Parijs (figuur 5.47). Ook het effect van het vergroot contactoppervlak is niet zichtbaar op figuur 5.49.



Figuur 5.49: Invloed Goldband op rubber

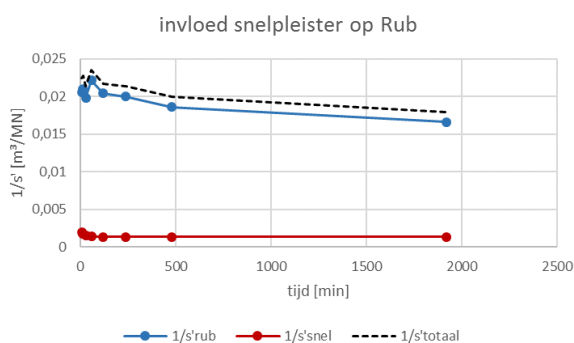
Snelpleister

Met uitzondering van de afwijking bij de meting na 240 min. toont figuur 5.50 hetzelfde gedrag als de andere pleistersoorten (figuur 5.46 en figuur 5.48) wanneer deze worden toegepast op het materiaal rubber.



Figuur 5.50: Dynamische stijfheid van rubber met snelpleister

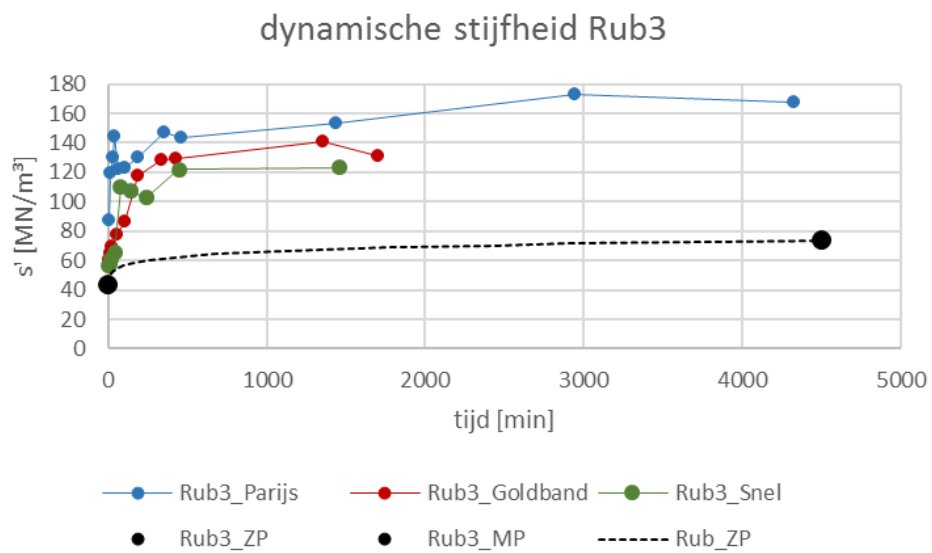
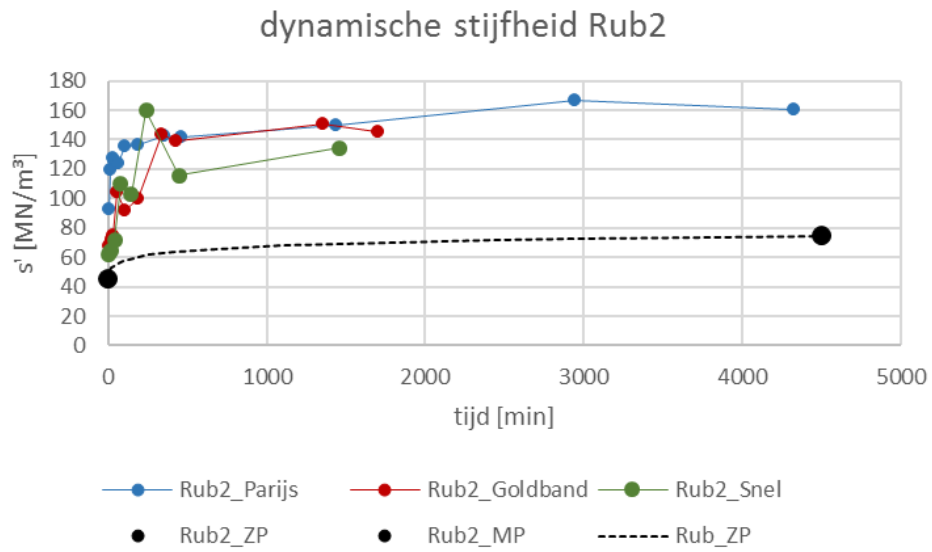
Uit figuur 5.51 kan hetzelfde geconcludeerd worden als uit figuur 5.47, namelijk dat het effect van het vergroot contactoppervlak niet duidelijk is in onderstaande grafiek.



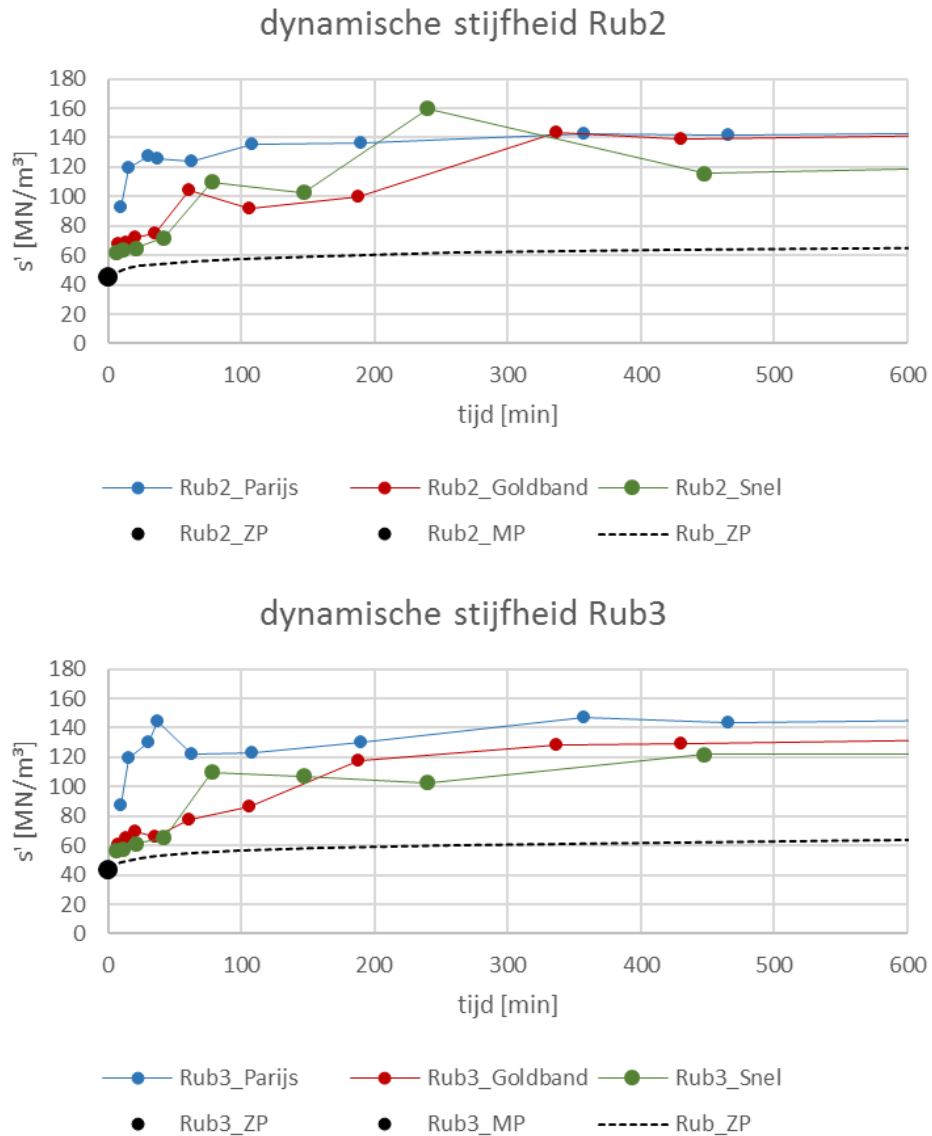
Figuur 5.51: Invloed snelpleister op rubber

Vergelijking soorten pleisters

Om het effect van het soort pleister op rubber te analyseren, worden de grafieken in figuur 5.52 ook uitvergroot (figuur 5.53). In figuur 5.53 is de invloed van de pleister zeer duidelijk door de steilere helling van rubber met pleister in vergelijking met de verwachte ontwikkeling zonder pleister (Rub_ZP). Het grote afstandsverschil tussen de curves van het materiaal met pleister en deze van het materiaal zonder pleister is het gevolg van de ingesloten lucht. Rub2_MP en Rub3_MP in figuur 5.52 zijn theoretisch bepaald aan de hand van de eindwaarde van het kruipprofiel (Rub_ZP) zoals reeds eerder vermeld. De pleisterlaag leidt namelijk tot het insluiten van lucht in het materiaal, waardoor de stijfheid van de lucht en niet de stijfheid van het product wordt gemeten.



Figuur 5.52: Vergelijking soorten pleisters op rubber



Figuur 5.53: Vergelijking soorten pleisters op rubber (uitvergroet)

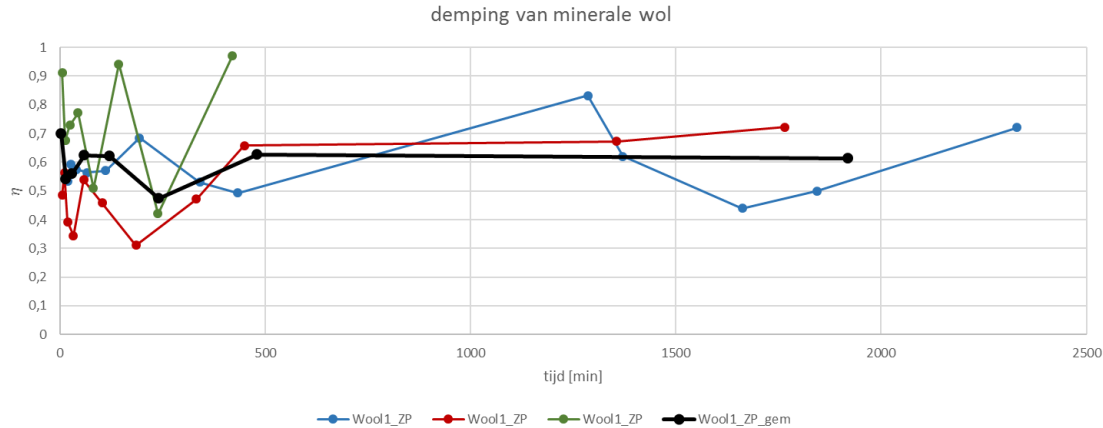
5.2 Damping

Zoals besproken in de literatuurstudie is de helling van de curve van de geluidsdruk in functie van de frequentie ter hoogte van de resonantiefrequentie afhankelijk van de damping van het materiaal. Een elastische laag met een hoge interne damping leidt tot een curve met een kleinere helling vergeleken met een materiaal met een lage damping. In onderstaande curves wordt de damping, ook wel interne verliesfactor η genoemd, per materiaal in functie van de droogtijd van de pleisterlaag voorgesteld.

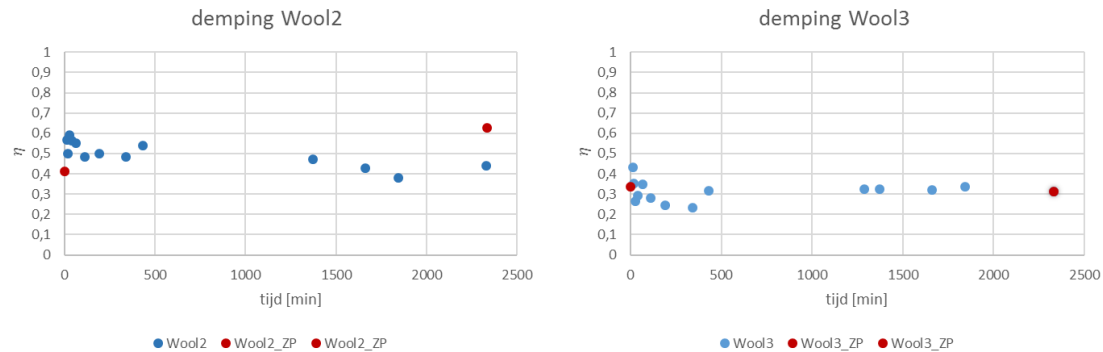
Minerale wol (Wool)

In figuren 5.55, 5.56 en 5.57 wordt duidelijk dat de materialen met een pleisterlaag (Wool2 en Wool3) een constanter verloop vertonen dan de gemiddelde curve van minerale wol zonder pleisterlaag (figuur 5.54). De oneffenheden van minerale wol (zonder pleisterlaag) hebben waarschijnlijk een invloed op de kracht die wordt

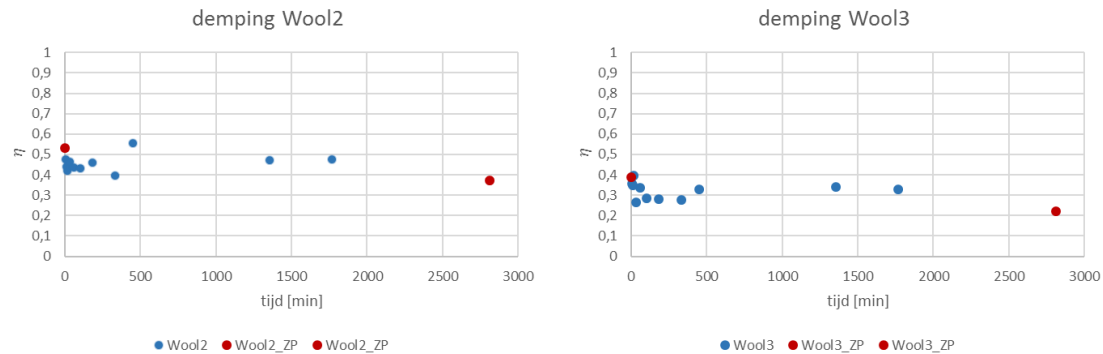
opgewekt door de hamer. Hierdoor gaat het materiaal niet meer reageren als een gewone veer, wat de grote schommelingen in de metingen van de demping kan verklaren. Uit onderstaande grafieken kan afgeleid worden dat de pleisterlaag zorgt voor het wegwerken van de oneffenheden van het materiaal. Het vereffenen leidt tot minder schommelingen in de resultaten van de demping.



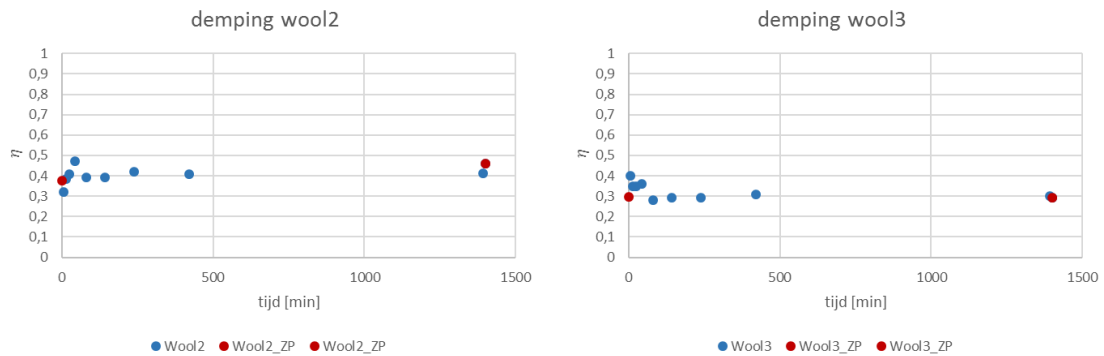
Figuur 5.54: Demping van minerale wol



Figuur 5.55: Demping van minerale wol met pleister van Parijs



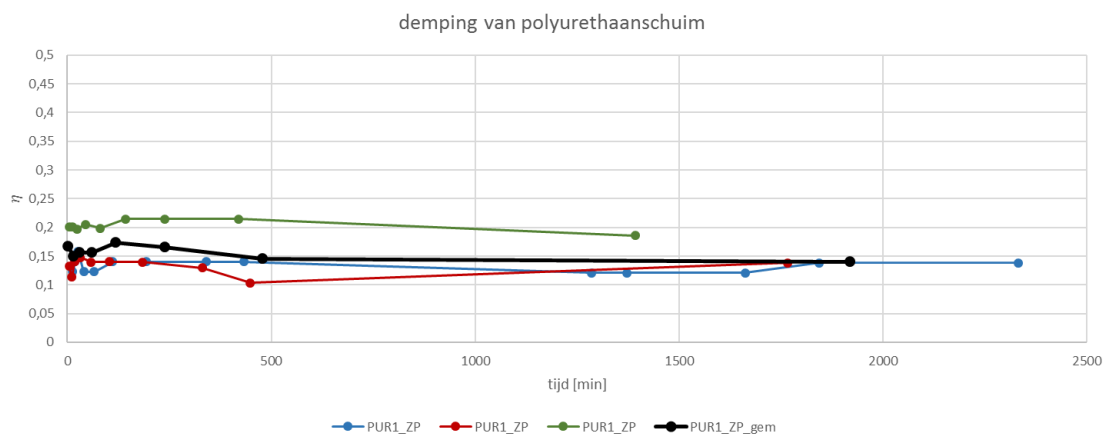
Figuur 5.56: Demping van minerale wol met Goldband



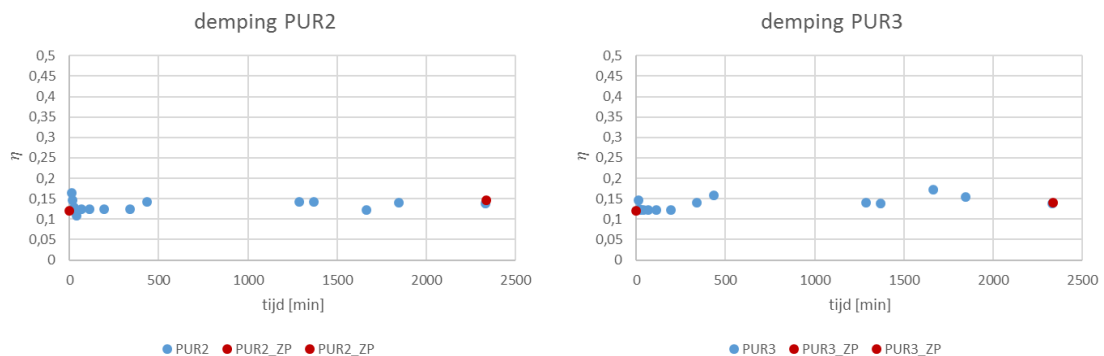
Figuur 5.57: Damping van minerale wol met snelpleister

Polyurethaanschuim (PUR)

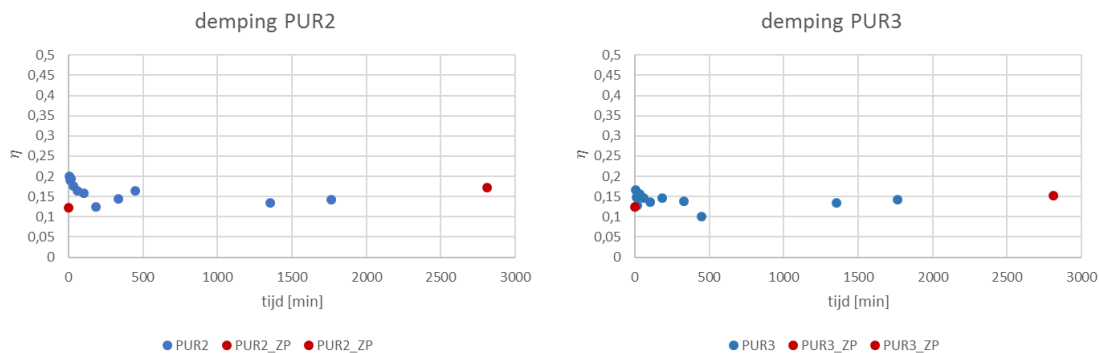
Zoals ook besproken bij de dynamische stijfheid van polyurethaanschuim heeft de pleisterlaag weinig tot geen invloed op de damping materiaal. Dit is ook duidelijk te zien wanneer de figuren 5.59, 5.60 en 5.61 vergeleken worden met de gemiddelde curve van polyurethaanschuim zonder pleisterlaag (figuur 5.58). Hierbij benadert het verloop van zowel PUR2 als PUR3 dat van de meting zonder pleisterlaag.



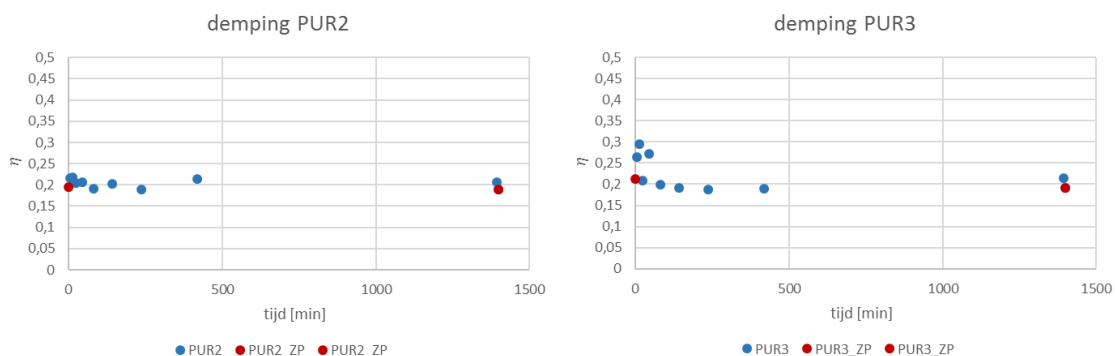
Figuur 5.58: Damping van polyurethaanschuim



Figuur 5.59: Damping van polyurethaanschuim met pleister van Parijs



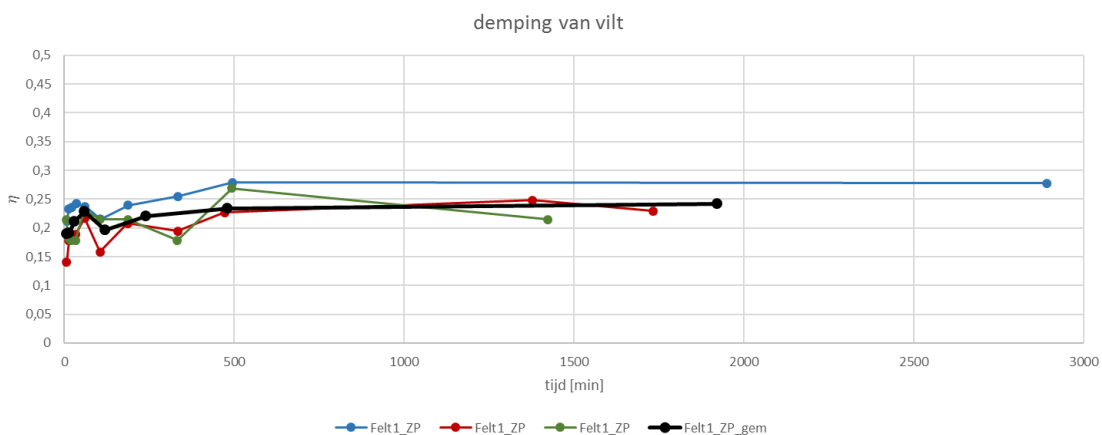
Figuur 5.60: Demping van polyurethaanschuim met Goldband



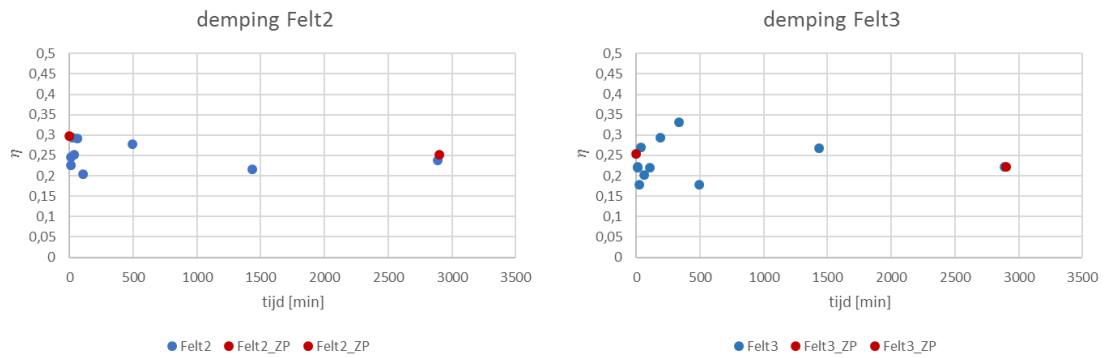
Figuur 5.61: Demping van polyurethaanschuim met snelpleister

Vilt (Felt)

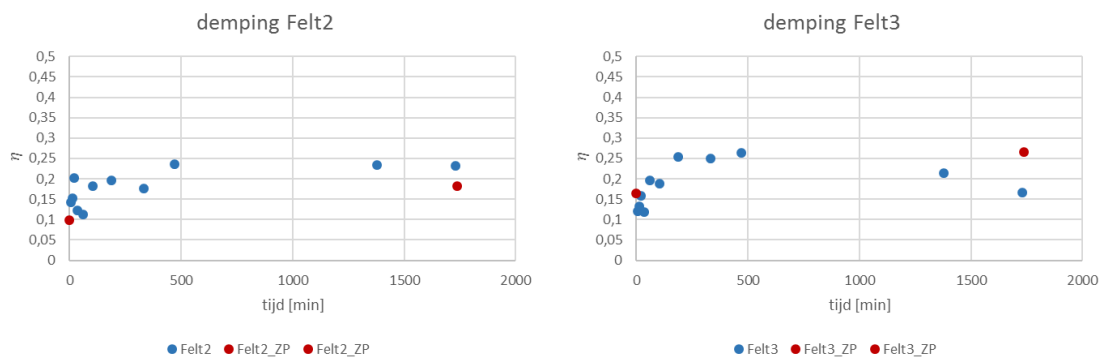
Zoals weergegeven in figuren 5.63, 5.64 en 5.65 zijn er te veel afwijkingen op de curves van Felt2 en Felt3 tijdens en na de uitharding van de pleisterlaag. Dezelfde afwijkingen zijn zichtbaar op de curves van de metingen zonder pleisterlaag (figuur 5.62) als gevolg van het oneffen oppervlak van het materiaal. Zoals vermeld bij minerale wol, zullen de oneffenheden van vilt een belangrijke invloed hebben op de metingen van de demping van het materiaal. Aan de hand van de onderstaande grafieken kan geen directe link gelegd worden tussen het gebruik van de pleisterlaag en de demping van het materiaal.



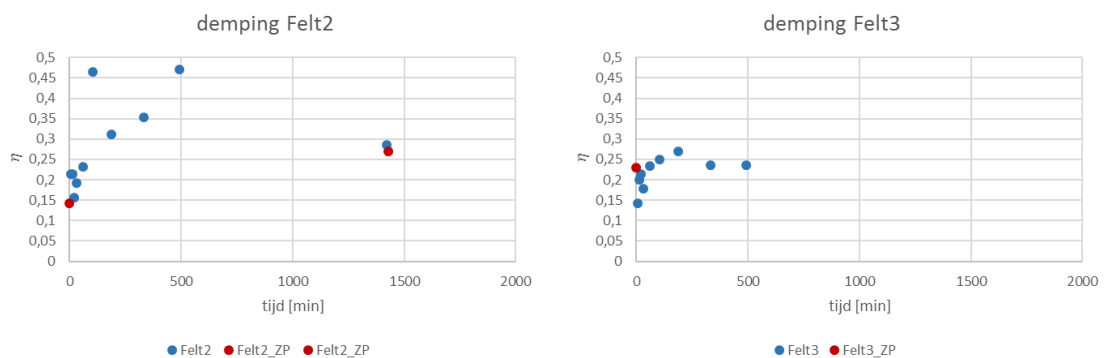
Figuur 5.62: Demping van vilt



Figuur 5.63: Demping van vilt met pleister van Parijs



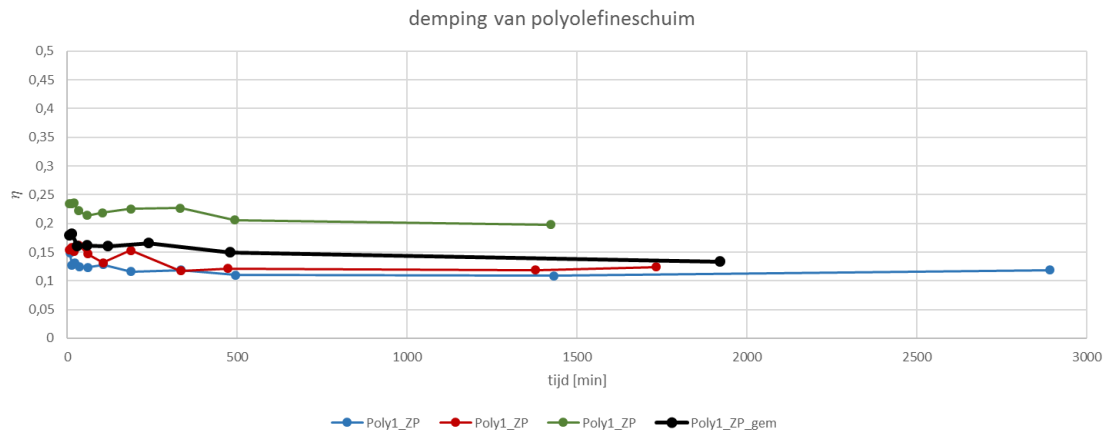
Figuur 5.64: Demping van vilt met Goldband



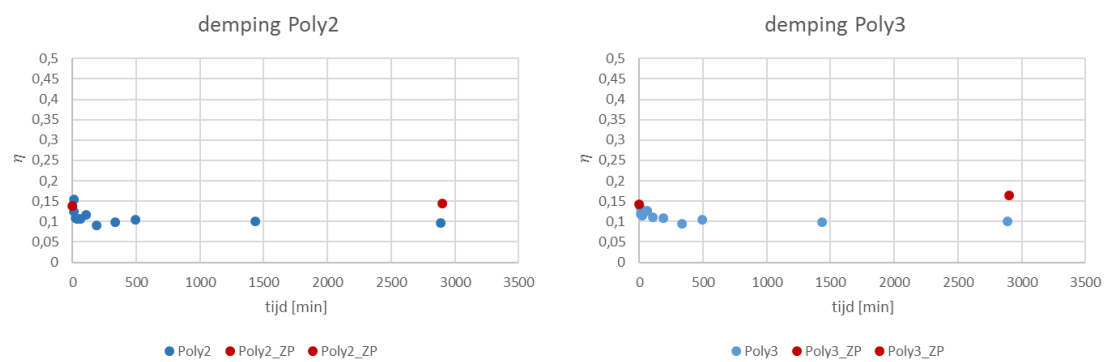
Figuur 5.65: Demping van vilt met snellepleister

Polyolefineschuim (Poly)

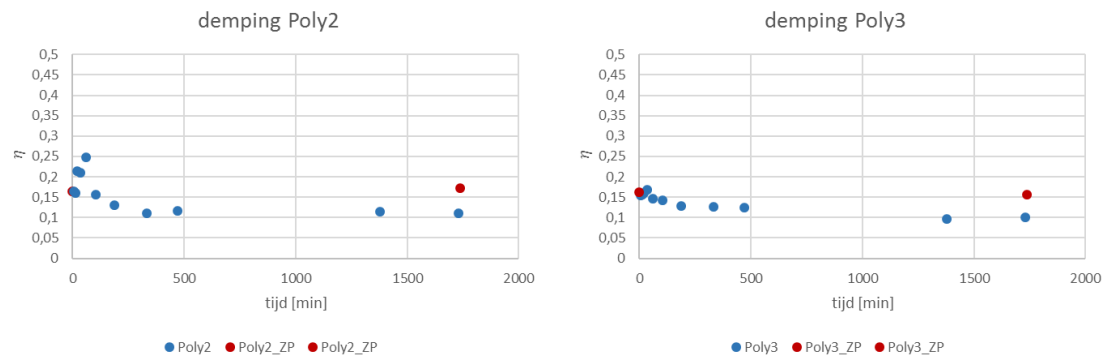
Het gebruik van een pleisterlaag op polyolefineschuim heeft zeer weinig invloed op de interne verliesfactor η . Dit wordt weergegeven in figuren 5.67, 5.68 en 5.69, waar de curves Poly2 en Poly3 ongeveer het verloop van de gemiddelde curve zonder pleisterlaag (figuur 5.66) benaderen.



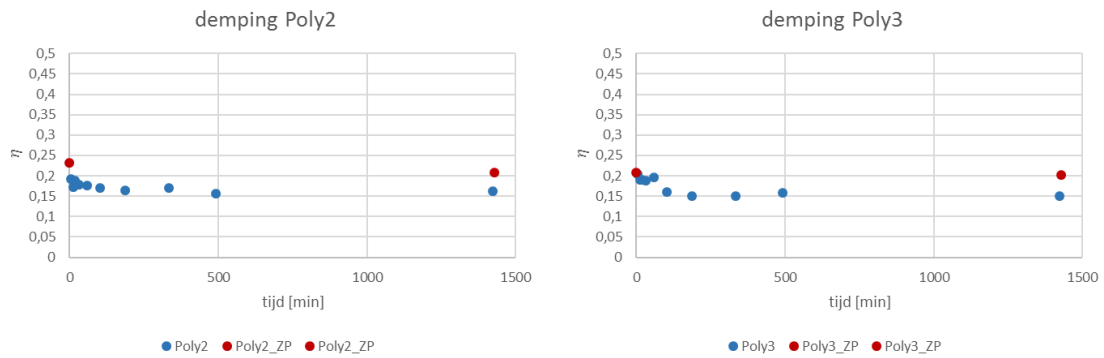
Figuur 5.66: Demping van polyolefineschuim



Figuur 5.67: Demping van polyolefineschuim met pleister van Parijs



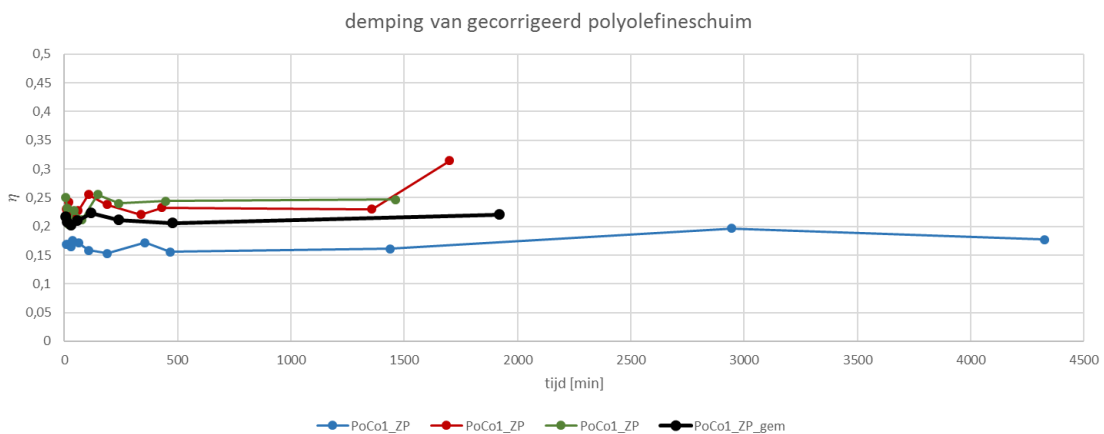
Figuur 5.68: Demping van polyolefineschuim met Goldband



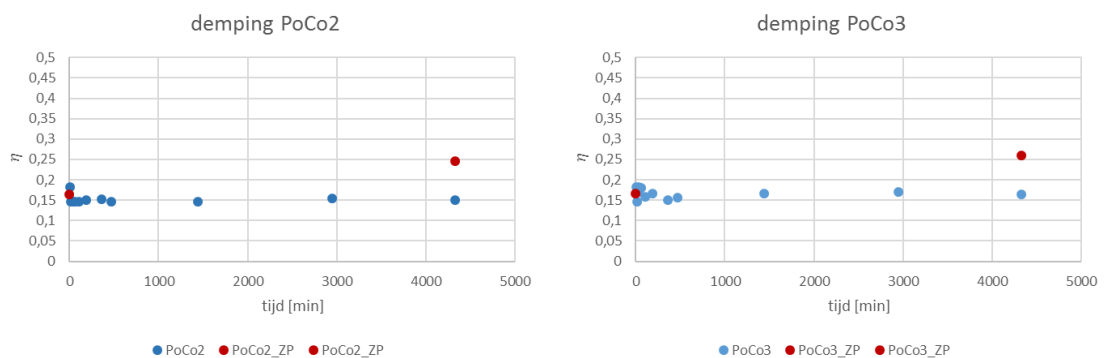
Figuur 5.69: Demping van polyolefineschuim met snelpleister

Gecorrigeerd Polyolefineschuim (Poco)

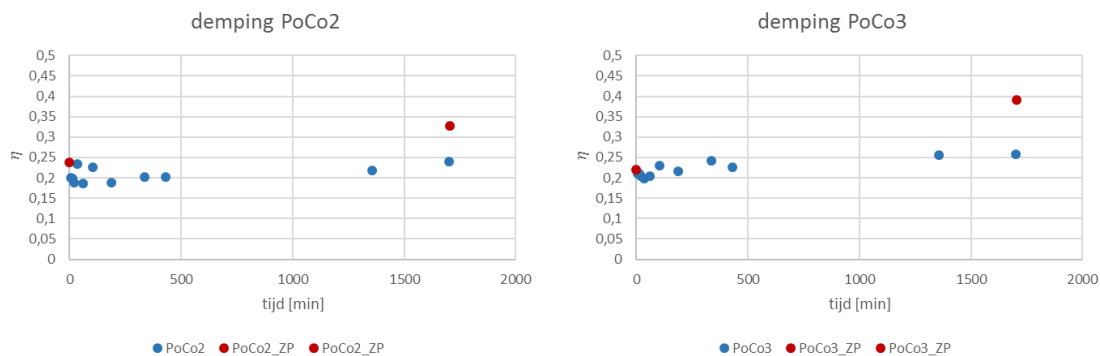
Met uitzondering van de afwijkingen zichtbaar op de curves met gebruik van snelpleister (figuur 5.73), is er eenzelfde verloop van de curves PoCo2 en PoCo3 (figuur 5.71 en 5.72) in vergelijking met het verloop van de meting zonder pleister (figuur 5.70).



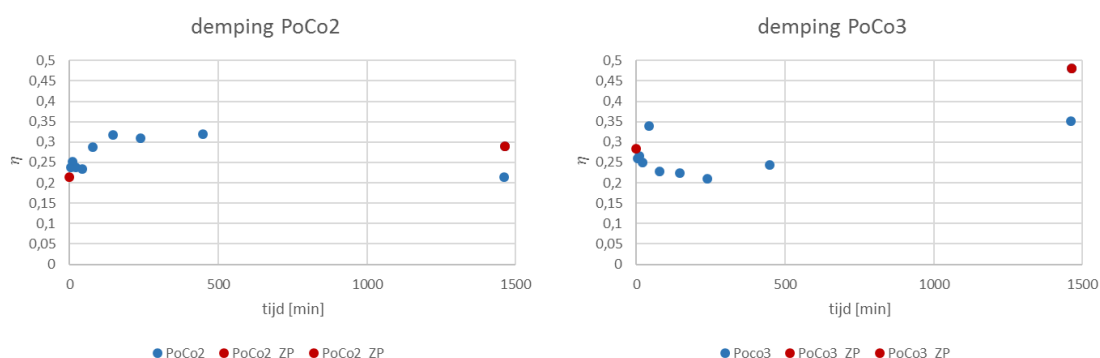
Figuur 5.70: Demping van gecorrigeerd polyolefineschuim



Figuur 5.71: Demping van gecorrigeerd polyolefineschuim met pleister van Parijs



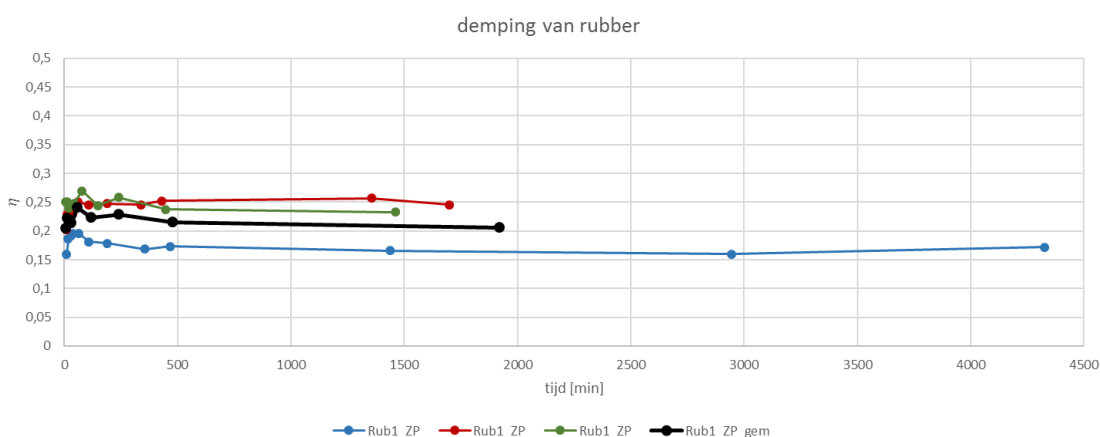
Figuur 5.72: Demping van gecorrigeerd polyolefineschuim met Goldband



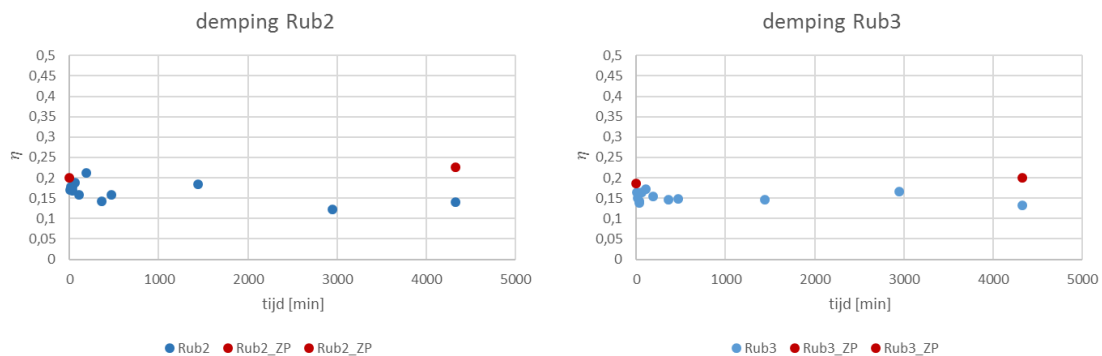
Figuur 5.73: Demping van gecorrigeerd polyolefineschuim met snelpleister

Rubber (Rub)

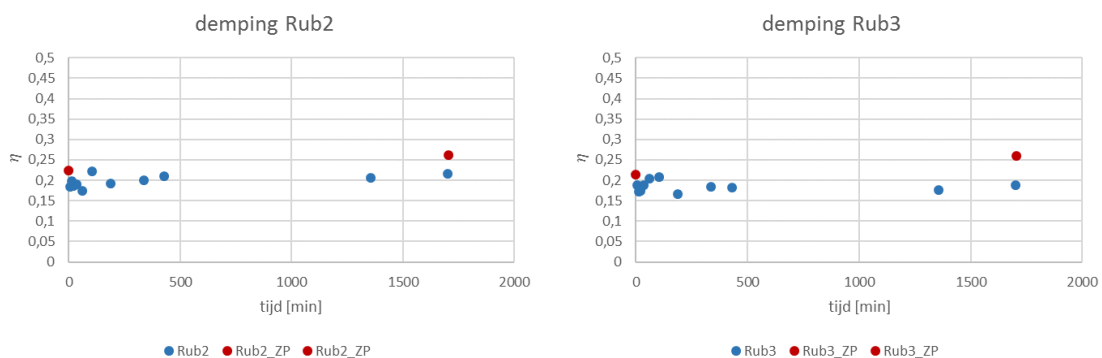
Zowel bij toepassing van pleister van Parijs als Goldband (figuren 5.75 en 5.76) verlopen de dempingscurves Rub2 en Rub3 nagenoeg gelijk met deze van de gemiddelde curve Rub1 (figuur 5.74). Net zoals de dempingscurve van gecorrigeerd polyolefineschuim met snelpleister (figuur 5.73) zijn er ook afwijkingen zichtbaar op de dempingscurve van rubber met snelpleister (figuur 5.77). Deze afwijkingen zijn niet onmiddellijk te verklaren aangezien een verloop verwacht wordt dat vergelijkbaar is met de dempingscurve van rubber met pleister van Parijs (figuur 5.75).



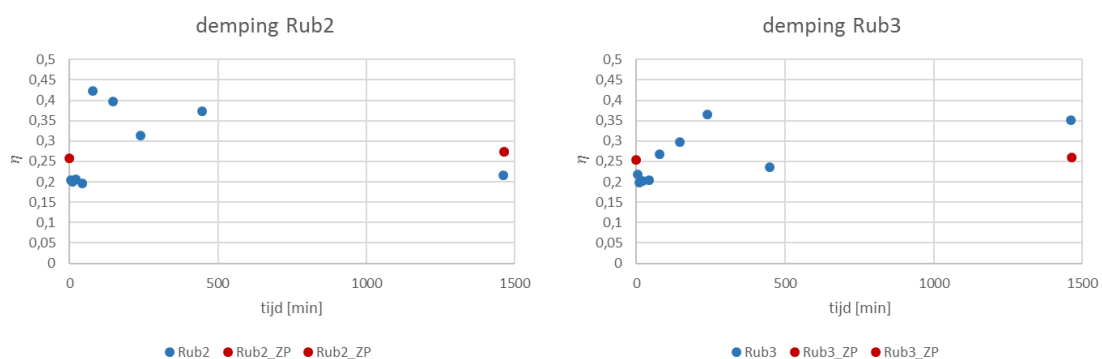
Figuur 5.74: Demping van rubber



Figuur 5.75: Demping van rubber met pleister van Parijs



Figuur 5.76: Demping van rubber met Goldband

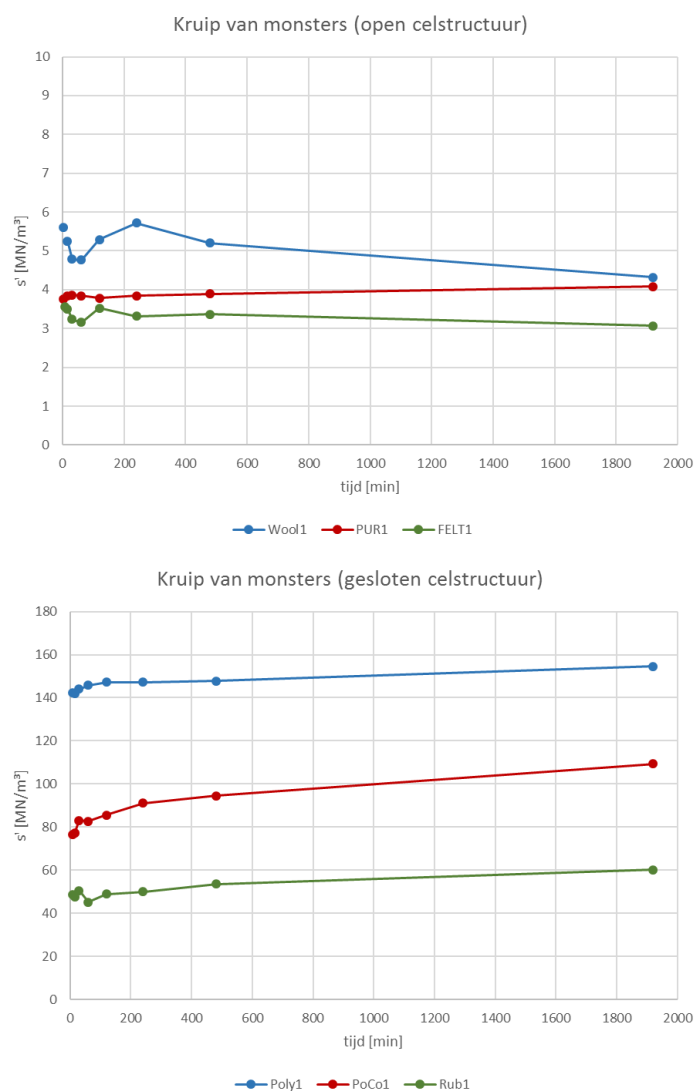


Figuur 5.77: Demping van rubber met snelleister

6. BESLUIT

Figuur 6.1 toont de gemiddelde curves van de verschillende monsters zonder pleisterlaag. De monsters met een open celstructuur vertonen een zeer lage dynamische stijfheid, terwijl de monsters met een gesloten celstructuur een hogere dynamische stijfheid vertonen.

Kruip van de monsters met een open celstructuur is zeer beperkt en zelfs moeilijk te bepalen bij minerale wol en vilt. Minerale wol en vilt hebben een oneffen oppervlak waardoor het aanslaan op verschillende plaatsen afwijkende resultaten geeft (figuur 6.1). Kruip van de monsters met een gesloten celstructuur is duidelijker aanwezig (figuur 6.1). Stijging van de dynamische stijfheid bij gecorrigeerd polyolefineschuim is daarnaast ook het gevolg van het vergroot contactoppervlak door zijn gegolfd oppervlak.



Figuur 6.1: Kruip van monsters

Door de hoge stijfheid van de pleisters wordt afgeleid dat een hogere dynamische stijfheid van het materiaal leidt tot een grotere beïnvloeding van de pleisterlaag op dit materiaal. Hoe groter het verschil in dynamische stijfheid tussen het materiaal en de pleister, hoe kleiner de beïnvloeding van de pleisterlaag op het materiaal. Uit figuur 6.1 kan bijgevolg afgeleid worden dat de invloed van de pleisterlaag het grootst is op polyolefineschuim. De invloed op de materialen met een open celstructuur zijn verwaarloosbaar klein, aangezien hun dynamische stijfheid zeer laag ligt. Hieruit kan geconcludeerd worden dat onderstaande formule kan toegepast worden om een idee te krijgen van de beïnvloeding van de pleisterlaag:

$$\frac{1}{s'_{\text{totaal}}} = \frac{1}{s'_{\text{pleister}}} + \frac{1}{s'_{\text{materiaal}}}$$

Daarnaast heeft de toevoeging van de vochtige pleisterlaag invloed op de stijging van de dynamische stijfheid als gevolg van een vergroot contactoppervlak. Waar het contact met de staalplaat zonder pleisterlaag slechts punctueel is, vergroot het contactoppervlak door het toevoegen van een pleisterlaag, wat op zijn beurt leidt tot een vergroting van de dynamische stijfheid. Dit effect wordt zeer duidelijk getoond door het materiaal rubber als gevolg van het grote aantal openingen in het oppervlak. Dit effect van de vochtige pleister, net zoals het effect van de ingesloten lucht, kunnen niet voorspeld worden door bovenstaande formule. Deze effecten worden in de grafieken volgens figuur 5.2 weergegeven door het afstandsverschil met de metingen zonder pleister (rode meetpunten).

De duur van de invloed van de pleisterlaag is het gevolg van de dynamische stijfheid van de pleisterlaag en deze van het product. Een pleisterlaag met een kleinere dynamische stijfheid heeft een langere beïnvloedingstijd dan een pleisterlaag met een hogere dynamische stijfheid. Daarnaast wordt een product met een hogere dynamische stijfheid langer beïnvloed door de pleisterlaag dan een materiaal met een lagere dynamische stijfheid. Bij benadering kan gesteld worden dat de pleisterlaag het product beïnvloedt indien:

$$s'_{\text{pleister}} < x \cdot s'_{\text{product}}$$

Met: x : factor afhankelijk van de meetnauwkeurigheid van het materiaal

De invloed van de pleisterlaag op de demping van het materiaal is niet éénduidig. Via dit onderzoek kan geen duidelijk verband gevonden worden tussen pleister en demping. De evolutie van de demping met gebruik van pleister is redelijk constant, hoewel heterogene materialen zoals minerale wol en vilt veel afwijkingen op de metingen vertonen.

Na dit onderzoek kan aangetoond worden dat de norm EN 29052-1 zeer optimistisch is in verband met de dynamische stijfheidsmetingen. Er kan namelijk geen conclusie getrokken worden voor alle materialen, aangezien elk materiaal een ander gedrag vertoont.

LITERATUURLIJST

Literatuur

- [1] M. Van Damme, „Contactgeluidsisolatie van massieve vloeren,” *WTCB-Dossiers*, vol. Nr. 3, pp. 1-14, 2009.
- [2] M. C. en H. Fr., „Dynamische stijfheid en akoestische transmissie van kontaktgeluiden,” *W.T.C.B. tijdschrift nr. 4*, pp. 50-61, 1988.
- [3] C. C., M. C. en I. B., „Estimation of the precision of the apparent dynamic stiffness measurement described in the standard EN 29052-1,” *Internoise*, 2016.
- [4] S. A., P. B. A. en R. F., „Estimation of acoustical performance of floating floors from dynamic stiffness of resilient layers,” *Building Acoustics*, vol. volume 12 number 2, pp. 99-113, 2005.
- [5] C. L., H. M. en U. E.E., *Structure-Borne Sound*, Berlijn: Springer, 1988.
- [6] S. A., P. B. A. en R. F., „Dynamic stiffness measurement: an empirical model to estimate the reduction in impact sound pressure level and its relative improvement curve,” *ICA*, pp. 3401-3404, 2004.
- [7] D. V. en M. K., „Change of dynamic stiffness of open and closed cell resilient materials after compressibility test,” *Materials science (Medziagotyra)*, vol. 15 nr. 4, pp. 368-371, 2009.
- [8] S. A., P. B. A., C. M. en R. F., „acoustical performance characterization of resilient materials used under floating floors in dwellings,” *Acustica*, vol. 93 nr. 3, pp. 477-485, 2007.
- [9] C. C. en M. C., „Evolution of the dynamic stiffness of typical materials used under floating floor during their lifetime,” *Internoise*, pp. 1-10, 2013.
- [10] C. C. en M. C., „Measurement of the dynamic stiffness of porous materials taking into account their airflow resistivity,” *Building Acoustics*, vol. 21 nr. 3, pp. 221-233, 2014.
- [11] S. A., G. C., M. P. en A. F., „Influence of static-load on airflow resistivity determination,” *Acoustics*, pp. 5585-5589, 2008.

Normen

- [12] NBN EN 29052-1: Geluidleer – Bepaling der dynamische stijfheid – Deel 1
Bouwstoffen gebruikt onder zwevende vloeren in woningen (ISO 9052-1:1989)
(1993)
- [13] NBN S 01-400-1: Akoestische criteria voor woongebouwen (2008)
- [14] NBN S 01-007: Akoestiek – Meten in het laboratorium van de
geluidstransmissie van contactgeluid (1975)
- [15] EN 12431: Materialen voor de thermische isolatie van gebouwen – Bepaling
van de dikte van isolatieproducten in zwevende vloeren (2013)
- [16] NBN EN 29053: Geluidleer – Bouwstoffen voor geluidtoepassingen – Bepaling
van de luchtstroomweerstand (ISO 9053:1991) (1995)

BIJLAGEN

Bijlage 1: Technische fiche modally tuned US PAT. No.: 4799375

United States Patent [19]
Lally

[11] **Patent Number:** 4,799,375
[45] **Date of Patent:** Jan. 24, 1989

[54] **INSTRUMENTED TEST HAMMER**
[75] **Inventor:** Richard W. Lally, Clarence, N.Y.
[73] **Assignee:** PCB Piezotronics, Inc., Depew, N.Y.
[21] **Appl. No.:** 545,625
[22] **Filed:** Oct. 26, 1983
[51] **Int. Cl.⁴** G01M 7/00
[52] **U.S. Cl.** 73/12; 73/DIG. 4
[58] **Field of Search** 73/12, 82, DIG. 4, 662,
73/11; 310/328; 145/29 B

[56] **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,702,060 2/1955 Bonnesen 145/29 B
4,132,024 1/1979 Pachmayr et al. 42/71 P
4,163,554 8/1979 Bernhardt 273/80 C

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

0082028 6/1980 Japan 73/12
0939988 6/1982 U.S.S.R. 73/12

Primary Examiner—David L. Lacey
Assistant Examiner—Andrew J. Anderson

Attorney, Agent, or Firm—Sommer & Sommer

[57] **ABSTRACT**

An instrumented test hammer for use in vibrationally exciting a test object includes a head assembly having an impact tip and a transducer operatively arranged to sense the force of an impact between the tip and object and to convert such sensed force into a proportional electrical signal, a handle extending away from the head assembly, and a cushioned grip surrounding a portion of the handle at a location spaced from the head assembly. The hammer is "tuned", by proper selection of the grip material and by selection of the ratio of the total mass of the head assembly to the combined mass of the handle and grip, such that the node of the first translational resonant mode of the hammer, after impacting against an object, is located substantially proximate the head assembly, independently of the manner by which the grip is held. The improved hammer substantially avoids the generation of spurious electrical signals due to post-impact vibration of the head assembly.

19 Claims, 4 Drawing Sheets

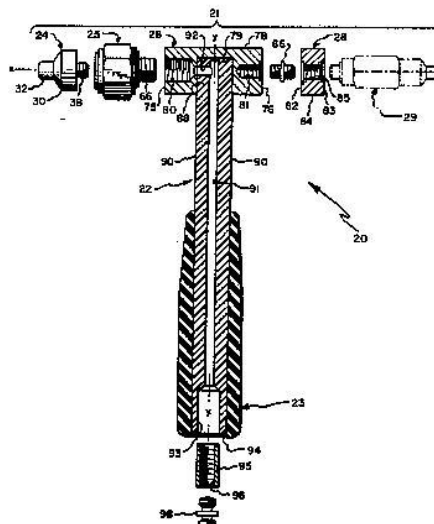


Fig. 1.

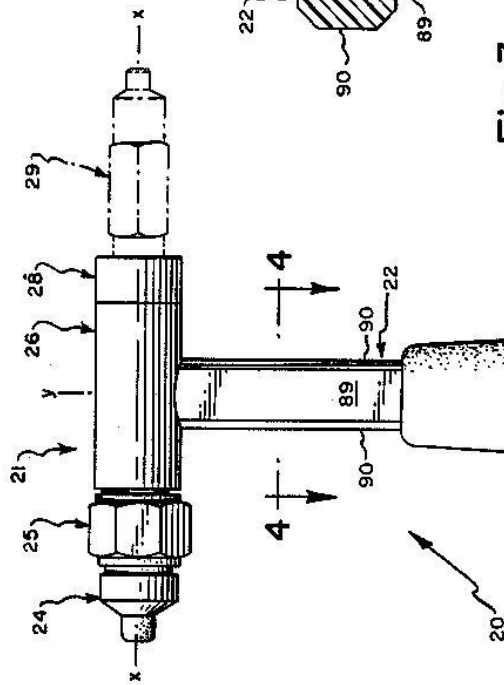


Fig. 2.

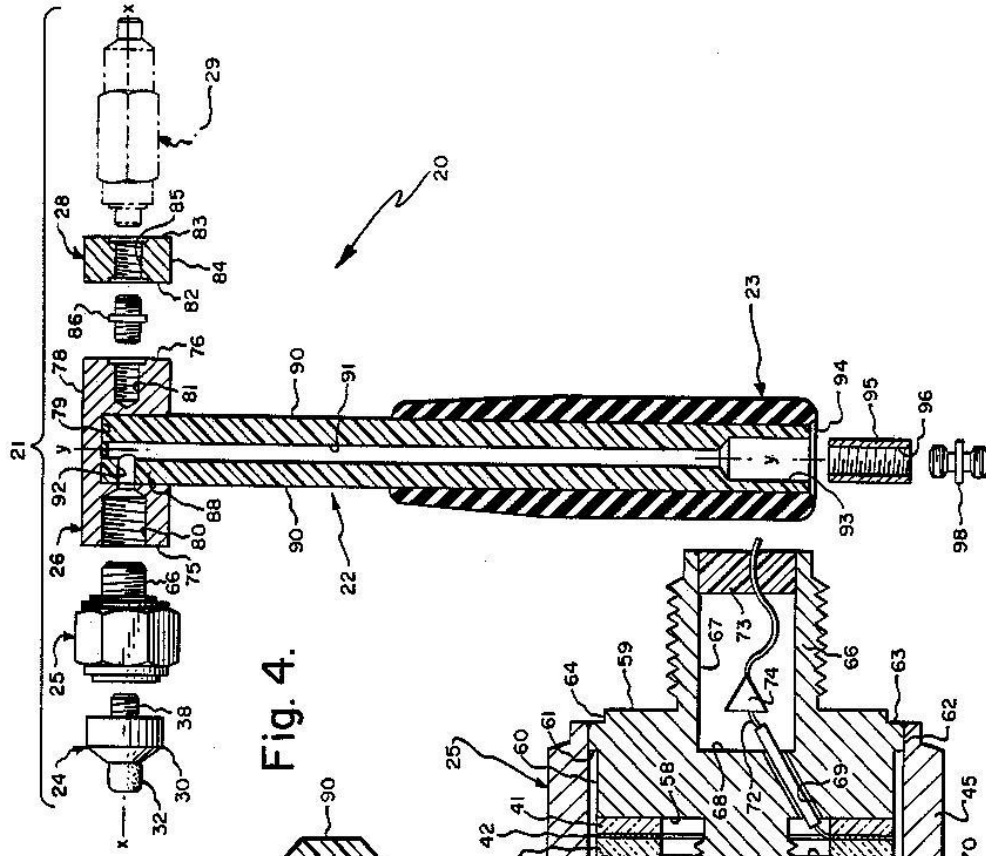


Fig. 4.

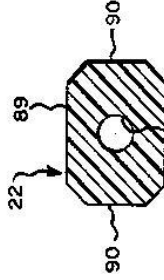


Fig. 3.

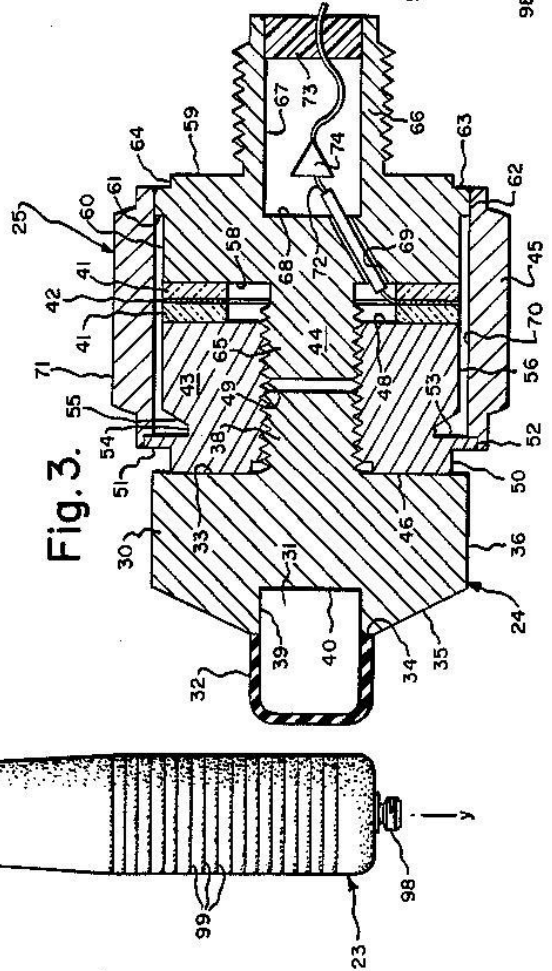


Fig. 5.

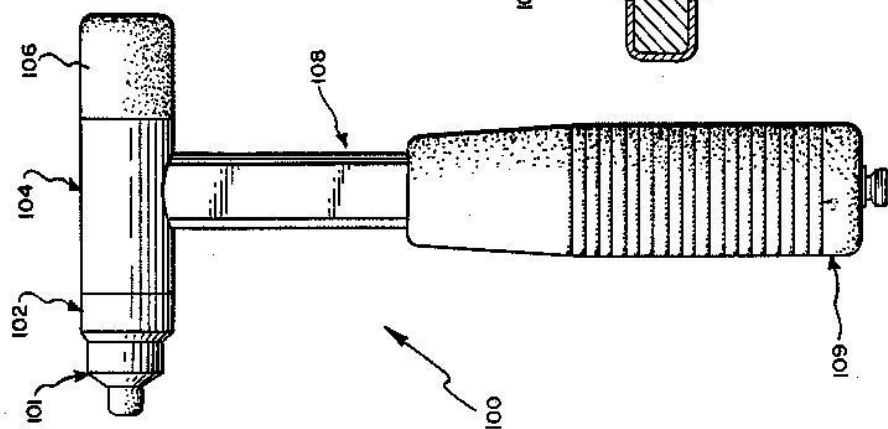


Fig. 6.

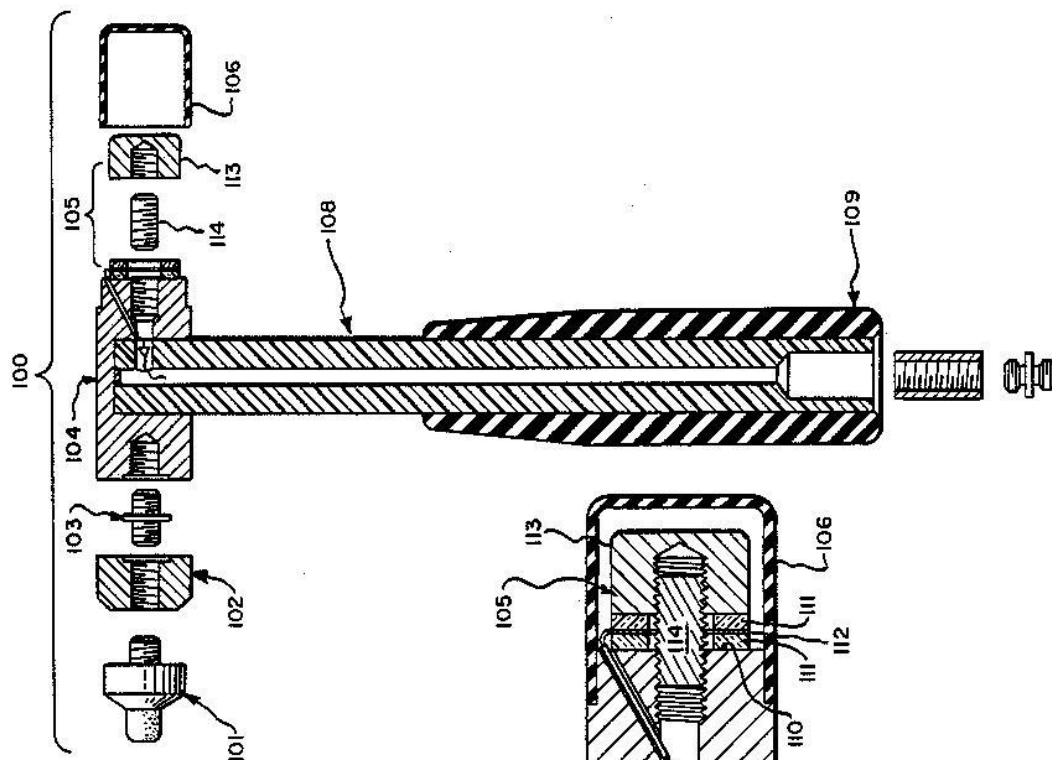


Fig. 7.

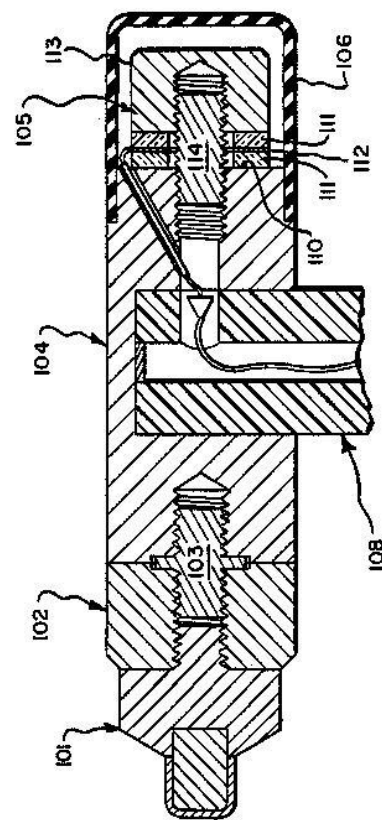


Fig. 8.

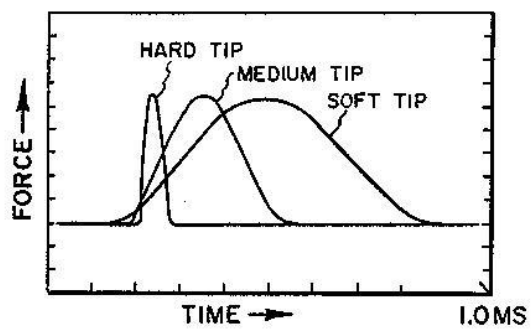


Fig. 9.

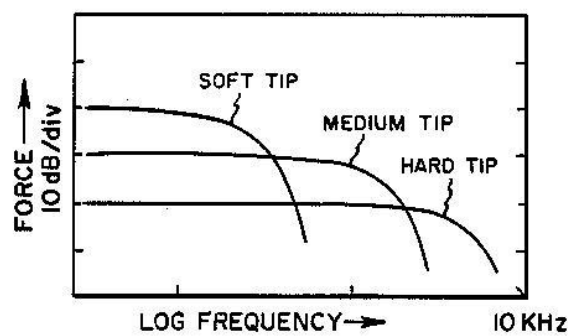


Fig. 10.

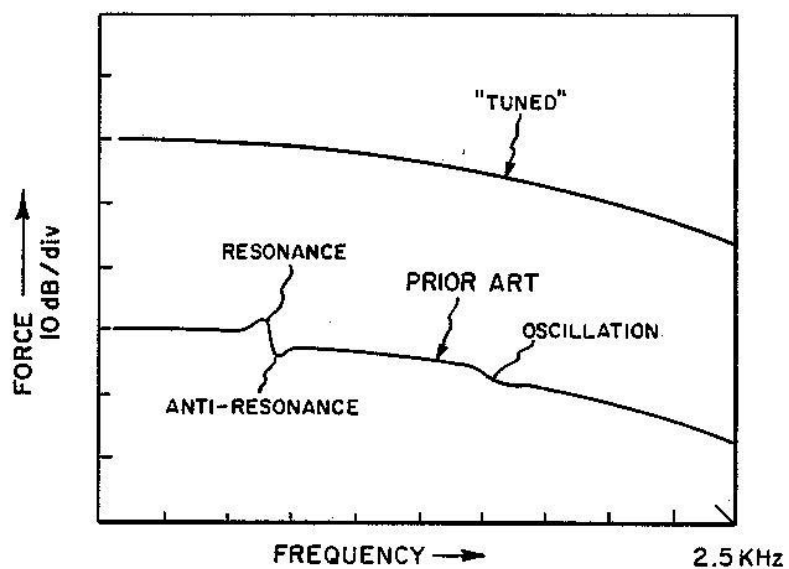
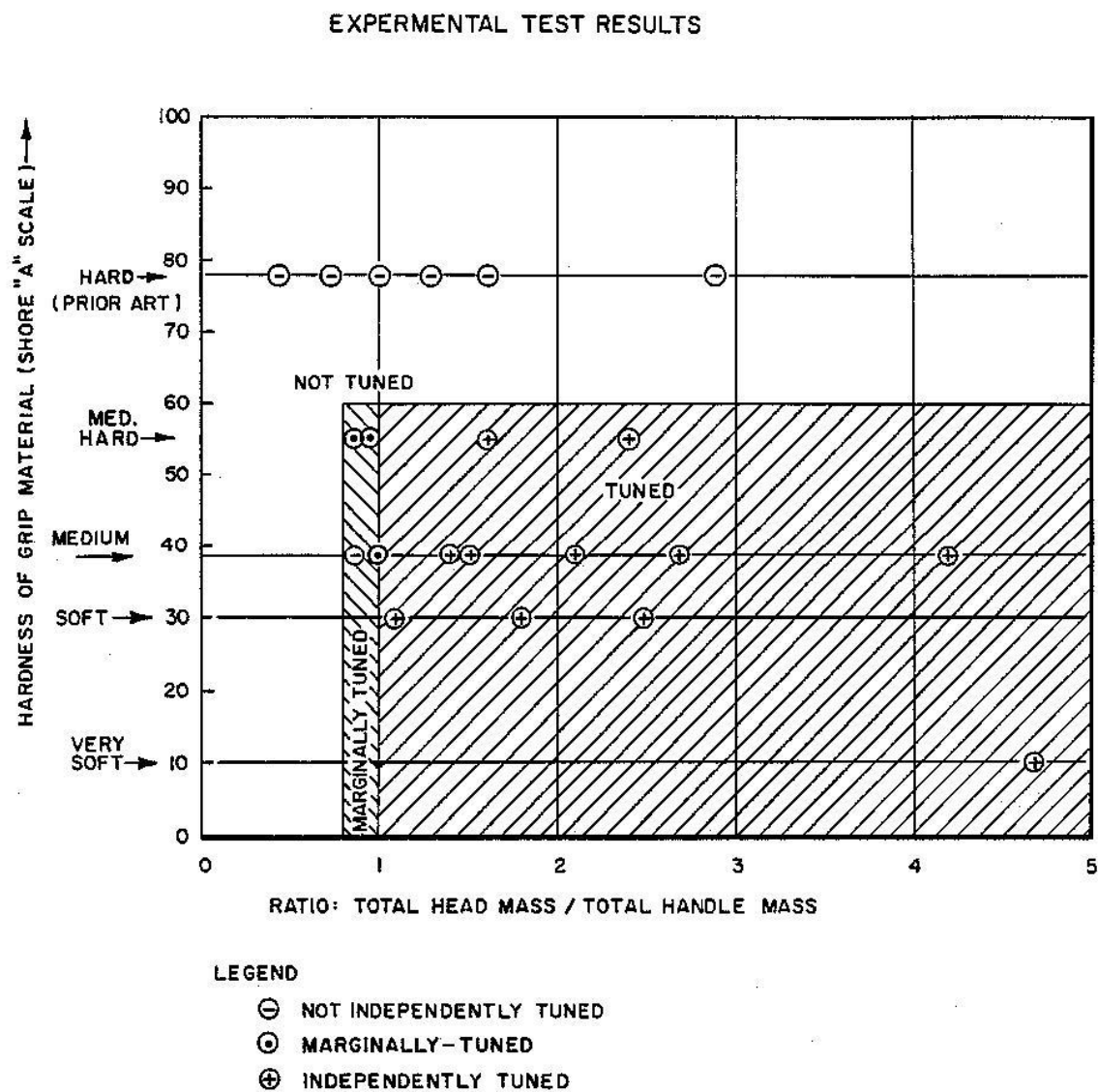


Fig. II.



INSTRUMENTED TEST HAMMER

BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention

The present invention relates generally to the field of instrumented test hammers, and, more particularly, to an improved test hammer which avoids spurious electrical signals and glitches due to post-impact vibration of the head assembly.

2. Description of the Prior Art

Instrumented test hammers for exciting a test object have been developed heretofore. Such prior art test hammers have included a head assembly, a handle extending away therefrom, and a graspable grip mounted on the distal end of the handle. The head assembly included an impact tip, and one or more piezo-electric crystals held under a preload between the tip and another mass. Thus, when the hammer was caused to impact against an object, the piezo-electric crystals would produce an analogous electrical signal proportional to the force of the impact. Prior art grips were of a relatively-hard resilient material having a hardness of about 78 on a Shore "A" scale when measured with a durometer.

Details of such earlier hammers, and their uses and applications, are representatively shown and described in one or more of the following prior art references: Halverson and Brown "Impulse technique for structural frequency result testing", Sound and Vibration, November 1977 (pp 8-21); Lally, "Testing the Behavior of Structures", Test, August/September 1978; R. W. Lally, "Transduction", PCB Piezotronics, Inc. (1981); "Stress Waves in a Long Bar", PCB Piezotronics, Inc. (1974); "Piezo-electric Analogies", Electromechanical Design, December 1967 (pp. 52-53).

However, upon information and belief, such prior art instrumented test hammers were somewhat limited in their application and use because the data produced thereby depended largely upon the expertise of the particular operator, which varied from individual to individual. The operator's hand and arm often became, in effect, part of the hammer structure, and introduced additional mass, stiffness and damping. At times, this enhanced post-impact vibration of the head assembly, and frequently caused spurious oscillation of the generated electrical signal, which destroyed the proportionality of the signal to the force of impact. Sometimes, the dynamic behavior of such hammers caused an undesirable "double hit" against the object, with the production of a corresponding oscillation in the spectrum of the electrical signal. Also, resonances of the hammer structure appearing in the test results were often mistaken for dynamic behavior of the object being tested.

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention provides an improved instrumented test hammer for use in exciting a test object, which hammer is independently "tuned" such that the electrical signal produced thereby will be substantially proportional to the force of an impact, independent of the skill or expertise of a particular operator.

The improved test hammer broadly includes a head assembly having an impact tip and having a transducer operatively arranged to sense the force of an impact between the object and tip and to convert such sensed force into a proportional electrical signal; a handle connected to the head assembly and extending away there-

from; and a cushioned grip surrounding a portion of the handle at a location spaced from the head assembly. The grip is selected of a material having a hardness of not more than 60 on a Shore "A" scale. The handle and head assembly are so dimensioned and proportioned, by adjusting the ratio of the total mass of the head assembly to the combined mass of the handle and grip, that the node of the first translational mode of the hammer, in the plane of the direction of impact and the axis of the handle, after impacting against an object, will be located substantially proximate the head assembly, independently of the manner by which the grip is held, thereby to substantially avoid the generation of spurious electrical signals due to post-impact vibration of the head assembly.

Accordingly, the general object of the present invention is to provide an improved instrumented test hammer for vibrationally exciting an object.

Another object is to provide an improved test hammer which minimizes post-impact vibration of the head assembly.

Another object is to provide an improved test hammer, the use of which does not depend upon the expertise of a particular operator.

Another object is to provide an improved test hammer which is capable of auto-calibration.

These and other objects and advantages will become apparent from the foregoing and ongoing written specification, the drawings, and the appended claims.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a side elevation of an improved test hammer employing a force transducer, this view also illustrating an optional accelerometer (shown in phantom) as being mounted on the head assembly for use in calibrating the signal generated by the transducer.

FIG. 2 is a fragmentary exploded view thereof, this view showing the handle, grip, and portions of the head assembly in vertical section, but still showing the impact tip, the transducer, and the accelerometer in elevation.

FIG. 3 is an enlarged fragmentary vertical sectional view of the impact tip and the force transducer shown in FIGS. 1 and 2.

FIG. 4 is a fragmentary horizontal sectional view of the handle, this view being taken generally of line 4-4 of FIG. 1.

FIG. 5 is a side elevation of another form of the improved test hammer, this embodiment employing an accelerometer as the force sensing element.

FIG. 6 is a vertical section view thereof, this view illustrating the various component parts in exploded aligned relation to one another, but still depicting the impact tip in elevation.

FIG. 7 is an enlarged fragmentary vertical sectional view of the head assembly.

FIG. 8 is a graph of impact force versus time for three different tips.

FIG. 9 is a graph of impact force versus frequency for the three tips depicted in FIG. 8.

FIG. 10 is an enlarged graph of impact force versus frequency of a portion of the graph shown in FIG. 9, this graph comparing the performance of a "tuned" hammer and a prior art hammer.

FIG. 11 is a chart of hardness of grip material versus ratio of total head mass to combined mass to handle and grip, this view illustrating at various points, particular combinations of different grip materials and different

ratios, and whether the resultant hammer was non-tuned marginally-tuned, or completely-tuned so as to be independent of the manner by which the grip was held.

DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

At the outset, it should be clearly understood that like reference numerals are intended to identify the same structural elements, portions or surfaces consistently throughout the several drawing figures, as such elements, portions or surfaces may be further described or explained by the entire written specification of which this detailed description is an integral part. Unless otherwise indicated, the drawings are intended to be read (e.g., cross-hatching, data, charts, graphs, dimensions, proportions, etc.) together with the specification, and are to be construed as a portion of the entire "written description" of this invention, as required by 35 U.S.C. §112. As used in the following description, the terms "leftwardly" and "rightwardly" refer to the orientation of the illustrated structure as a particular drawing figure faces the reader, and terms "inwardly" and "outwardly" refer to the orientation of a surface relative to its axis.

FORCE TRANSDUCER EMBODIMENT (FIG. 1-4)

Referring now to the drawings, and, more particularly, to FIGS. 1-4 thereof, this invention provides an improved instrumented test hammer, of which a first preferred embodiment is generally indicated at 20, for use in vibrationally exciting a test object (not shown). Test hammer 20 is shown as broadly including an uppermost head assembly 21, a vertically-elongated handle 22 depending from the head assembly, and a cushioned grip 23 mounted the lower marginal end portion of the handle.

The head assembly is shown as being horizontally elongated along axis $x-x$, and is typically of sectional construction. Specifically, the head assembly includes (from left to right in FIGS. 1 and 2) an impact tip 24, a force transducer 25, a body 26, and a tuning mass 28. An optional accelerometer, shown in phantom and generally indicated at 29, is mounted axially on the tuning mass and extends rightwardly therefrom. Accelerometer 29 is used for calibrating the electrical signal produced by the force transducer. Hence, while depicted in the drawings for use in describing the calibration feature, *infra*, the presence of the accelerometer is otherwise collateral to the structure and operation of hammer assembly 20. In other words, after the force transducer has been calibrated, accelerometer 29 may be entirely removed.

Referring now to FIGS. 2 and 3, impact tip 24 is shown as including a specially-configured solid metal body 30, an insert 31, and a vinyl cap 32. The body has an annular vertical right face 33; a left face including a leftwardly-facing annular vertical surface 34 and a leftwardly- and outwardly-inclined frusto-conical surface 35, and an outwardly-facing cylindrical outer surface 36 joining the marginal ends of surfaces 33,35. As best shown in FIG. 3, an integrally-formed externally-threaded stem 38 extends rightwardly from right face 33. A recess extends axially into the tip body from its left face surface 34. This recess is bounded by an inwardly-facing cylindrical surface 39 extending rightwardly from surface 34, and a leftwardly-facing circular vertical bottom surface 40. The tip insert 31 is shown as

being horizontally-elongated substantially-cylindrical solid member. The right marginal end portion of the insert is received in the body recess. The remainder of the insert extends leftwardly of tip surface 34. Normally, the insert is held in the recess of the tip body by means of a press-fit or a suitable adhesive. Depending upon the frequency range of interest, the tip inserts may be typically formed of rubber (soft), plastic (intermediate), or steel (hard). The cap 32 is a somewhat cup-shaped member protectively covering the leftward exposed portion of the insert. Thus, the operator may readily mount an impact tip 24, having an insert of desired hardness, on the force transducer 25. If the contact between the tip and test object is axial, then the full impact force exerted by the object on the tip will be transmitted to the force transducer.

Referring to FIG. 3, the force transducer 25 is shown as including a three-part sectional body, and a pair of annular disc-like piezo-electric plates 41,41, preferably quartz crystals, with an electrode 42 sandwiched therebetween. The transducer body includes a left part 43, a right part 44, and an outer part 45. The left part is a specially-configured member having annular vertical left and right faces 46,48, respectively; an internally-threaded through-bore 49; and an outer surface which includes (from left to right in FIG. 3) an outwardly-facing cylindrical surface 50 extending rightwardly from left face 46, a leftwardly-facing annular vertical surface 51, an outwardly-facing cylindrical surface 52, a rightwardly-facing annular vertical surface 53, an outwardly-facing cylindrical surface 54, a leftwardly- and outwardly-facing frusto-conical surface 55, and an outwardly-facing cylindrical surface 56 continuing rightwardly therefrom to join right face 48. The stem 38 of impact tip 24 is matingly received in the left marginal end portion of left part bore 49, such that impact tip surface 33 abuts left part face 46.

The body right part 44 is another specially-configured member, and is bounded by annular vertical left and right faces 58,59, and an outer surface including (from left to right in FIG. 3) an outwardly-facing cylindrical surface 60 extending rightwardly from left face 58, a leftwardly-facing annular vertical surface 61, an outwardly-facing cylindrical surface 62, a rightwardly-facing annular vertical surface 63, and an outwardly-facing cylindrical surface 64 continuing rightwardly therefrom to join right face 59. Integrally-formed externally-threaded stems 65,66 extend leftwardly and rightwardly from right part faces 58,59, respectively. Left stem 65 is matingly received in the right marginal end portion of left part bore 49. A recess extends leftwardly into the body right part from the distal end of stem 66. Specifically, this recess is bounded by an inwardly-facing cylindrical surface 67 and a rightwardly-facing circular vertical bottom surface 68. A passageway 69 communicates bottom surface 68 with left face 58 to accommodate passage of a wire from electrode 42. Thus, the right part of the transducer body is threaded into the left part thereof such that the crystal-electrode-crystal subassembly is compressively sandwiched, or preloaded, between body surfaces 48,58 to the extent desired.

The body outer part 45 is a tube-like member connecting the body left and right parts. Outer part 45 is shown as having an inwardly-facing cylindrical inner surface 70, the right marginal end portion of which engages surface 62. The left marginal end portion of the outer part is provided with an annular corner notch in

which the edge between left part surfaces 52,53 is received. The outer part is provided with an external hexagonal surface 71, to facilitate grasping and rotation by a suitable turning tool (not shown). When the piezo-electric crystals have been preloaded (i.e., axially compressed between body surfaces 48,58) to the extent desired, outer part 45 is suitably welded to the body left and right parts, as shown, to prevent unintended separation of the transducer assembly. An insulated conductor 72 is connected to electrode 42, passes through passage-way 69, the right stem recess, and an epoxy plug 73 sealing the open mouth of the recess. A MOSFET isolation amplifies 74, inter alia, is connected in series with conductor 72 to make the signal from the crystals compatible with commercial signal processing or displaying instruments.

Referring now to FIG. 2, the head assembly body 26 is shown as being a solid member having annular vertical left and right faces 75,76, respectively, and an outwardly-facing cylindrical surface 78 extending therebetween. A blind recess 79, having a cross-sectional shape complementarily-configured to that of the handle, extends radially upwardly into the body from its underside. A tapped recess 80 extends rightwardly into body 26 from its left face 75 and communicates with recess 79. Recess 80 is adapted to receive threaded insertion of transducer stem 66 such that transducer right face 59 will abut body left face 75. A blind tapped recess 81 extends leftwardly into body 26 from its right face 76.

The tuning mass 28 is a weight of such density, dimension and proportion that the portion of the head assembly mass which is to the left of handle axis $y-y$ substantially equals and balances the portion of the head assembly mass which is to the right of the handle axis. This latter portion, of course, excludes the mass of accelerometer 29, which is only used to calibrate the signals generated by crystals 41,41 and is thereafter removable from the head assembly. The tuning mass is shown as being a disc-like element having annular vertical left and right faces 82,83, respectively, a cylindrical outer surface 84, and a tapped through-hole 85. The tuning mass is mounted on the head assembly body 26 by means of a mounting stud 86 such that the left face 82 of the tuning mass abuts the body right face 76.

The handle 22 is a tubular member, and is shown as being vertically elongated along axis $y-y$. An upper marginal end portion 88 of the handle is received in body recess 79, while balance of the handle extends away from the head assembly body 26. Handle axis $y-y$ is shown as being vertical, and, therefore, perpendicular or normal to head assembly axis $x-x$, but this is not critical or invariable and the angle between these two axes may be varied. As best shown in FIG. 4, the handle has a substantially rectangular cross-section, with chamfered corners. The longer sides 89,89 of the handle are arranged in planes which intersect axis $x-x$. As best shown in FIG. 2, handle 22 is provided with an axial vertical through-hole 91. A horizontal hole 92 is drilled into the handle upper marginal end portion from the forward surface 90 thereof to intersect vertical hole 91. When the hammer is assembled, hole 92 communicates with body recess 80 so that the conductor 72 issuing from the force transducer may pass through holes 80,92, and 91, and therefore be concealed with the hollow handle. An axial recess 93 extends upwardly into the handle from its lower distal end face 94, so as to receive insertion a tubular sleeve 95 having a tapped through-bore 96. An electrical connector 98, which

somewhat resembles a mounting stud in outward appearance, is threaded upwardly into the lower marginal end portion of sleeve bore 96, and is suitably connected to conductors 72. Thus, a suitable connecting cable (not shown) may be readily and releasably coupled to the hammer to convey the signals in conductors 72 to other structure (not shown). In some cases, handle 22 may be formed of a relatively light-weight material, such as balsa wood (having a density of about 7.5-12.5 lbs/ft³) or a graphite fiber epoxy material (having a density of about 80-100 lbs/ft³). These examples are illustrative only, for it is the ratio of the total mass of the head assembly relative to the combined mass of the handle and grip that is deemed to be important, as discussed infra.

Grip 23 is shown as surrounding a lower marginal end portion of the handle at a location spaced from the head assembly. The outer surface of the grip is shown as being provided with a plurality of ribs, severally indicated at 99, to facilitate grasping by the hand of an operator. The grip is formed of a resilient cushioned material, such as neoprene rubber, having a hardness of not more than 60 on a Shore "A" scale. The grip may be formed of a material which is "very soft" (i.e., having a hardness of within 5-15, and preferably about 10, on a Shore "A" scale), "soft" (i.e., having a hardness of 25-34, and preferably about 30, on a Shore "A" scale), "medium" (i.e., having a hardness of 34-44, and preferably about 39, on a Shore "A" scale), or "medium hard" (i.e., having a hardness of 50-60, and preferably about 55, on a Shore "A" scale).

Hammer 20 is assembled as shown in FIG. 1. The operator may grasp the cushioned grip and tap the impact 24 against an object-to-be-tested. The impact of the hammer against the object will exert a force on the tip, which force will be transmitted to the crystals. Such further compression will cause the piezo-electric crystals to generate an analogous electrical signal which will be proportional to the force of the impact. This signal may be tapped off at cable connector 98.

In order to calibrate the signals, an accelerometer is temporarily mounted on the tuning mass, and the tip of the hammer is again caused to impact against an object. The accelerometer has another pair of piezo-electric crystals compressed under preload between a body and a seismic mass. Since the accelerometer is mounted on the head assembly, it is subjected to the acceleration caused by the same impact force that the force transducer experiences. The accelerometer has a known sensitivity, may be used to determine the magnitude of the impact force. Once this is known, the sensitivity of the force transducer may be readily calibrated. Thereafter, the accelerometer may be removed from the improved hammer until calibration is desired. This auto-calibration technique is made possible by "tuning" the hammer structure, which effectively isolates the head assembly from the handle and grip, as well as the operator's hand.

ACCELEROMETER EMBODIMENT (FIGS. 5-7)

A second embodiment of the improved test hammer is generally indicated at 100 in FIGS. 5-7. Whereas the first embodiment employed a force transducer (e.g., 25) to convert the force of an impact into a proportional electrical signal, this second embodiment employs an accelerometer as the sensing and converting element. Since much of the structure of this second embodiment

corresponds to structure previously described, the ensuing description will be somewhat abbreviated.

Referring now to FIGS. 5-7, test hammer 100 is shown as including a head assembly having (from left to right) an impact tip 101, a tuning mass 102, a mounting stud 103 for connecting the mass to a body 104, and an accelerometer, generally indicated at 105, and protectively enclosed with a cup-shaped cover 106; a handle 108 extending away from the head assembly, and a cushioned grip 109 surrounding the lower marginal end portion of the handle at a location spaced from the head assembly.

As best shown in FIG. 7, the head assembly body 104 has an annular vertical right face 110, which functions as the base of the accelerometer. The accelerometer includes two piezo-electric crystals 111, 111, again preferably quartz, with a metallic electrode 112 sandwiched therebetween. Each of the crystals is an annular disc-like element. The crystal-electrode-crystal subassembly is compressed between surface 110 and the facing surface of a seismic mass 113, by means of a preload stud 114 engaging the base and mass. Thus, when the tip of the hammer is caused to impact against an object, the crystals will be further compressed, and will thereby generate an electrical signal proportional to the sensed acceleration. According to Newton's second law, force is equal to the product of mass and acceleration (i.e., $F=ma$). Hence, acceleration is proportional to force, for a constant mass. Thus, the product of this sensed acceleration and the head assembly mass will be the force of the impact. Of course, the signal may be calibrated so as to indicate force directly.

OPERATION

As previously noted, the impact tips are interchangeable, depending upon the particular application. An appropriate impact tip, having an insert of desired hardness, may be selected depending upon the frequency range of interest. FIG. 8 is a graph of force (ordinate) versus time (abscissa) for impact tips having hard (i.e., steel), medium (i.e., plastic), and soft (i.e., rubber) inserts. Thus, an insert with a hard tip will produce the shortest pulse width time-history waveform, while the insert with a soft tip will produce the longest waveform.

As shown in FIG. 9, when such force signal is processed and displayed against frequency, it is seen that the impact will excite the object with substantially constant force over a frequency range. FIG. 9 also illustrates that frequency range is greatest for the hard insert, and least for the soft insert. Of course, the frequency range of the medium insert is intermediate these two extremes.

FIG. 10 is an enlargement of a portion of the force (ordinate) versus frequency (abscissa) curve for the hard tip shown in FIG. 9. In FIG. 10, the performance of an improved "tuned" hammer according to the present invention is displayed above that of an "untuned" prior art hammer. Persons skilled in this art will appreciate that the illustrated portions of these performance curves are displayed above and below one another for clarity of illustration, and not as direct measurements of the indicated force. In other words, the corresponding portion of the curve of the prior art hammer may be viewed as having been shifted downwardly only so that it may be separated from and visually compared with the performance of the improved "tuned" hammer. The significance of FIG. 10 is that, whereas the curve of the prior art hammer had various resonant peaks and other

anomalies, the curve of the improved hammer is peak-free and is smooth and continuous. Such spurious anomalies and peaks of the prior art hammer are thought to be caused by post-impact vibration of the head assembly at its natural resonant frequencies. Since force and acceleration are directly related (i.e., $F=ma$), post-impact vibration of the prior art head assembly produced various accelerations on the sensing and converting element, which, in turn, produced spurious force signals.

THE IMPROVED "TUNED" HAMMER

Upon information and belief, source of resonant peaks, anti-resonant valleys, and anomalies in prior art hammers was such post-impact vibration of the head assembly. However, the magnitude of such spurious signals seemed to vary from operator to operator. In hindsight, it is now thought that this difference in result depended, at least in part, on the strength of the operator's grasp on the grip of the handle. One operator might grasp the grip too tightly, and such rigidization effectively caused his hand, and possibly his arm, to become, in effect, an extension of the handle itself. Another operator might grasp the grip loosely, thereby permitting additional freedom for the handle to vibrate after impact. The point of this is that the accuracy of such prior art hammers depended largely upon the expertise of a particular operator.

The aim of the present improvement is to "tune" the structure of the test hammer such that the node of at least the first translational resonant mode of the hammer, in the plane of the direction of impact and the handle axis (i.e., in a plane including axes $x-x$ and $y-y$), after impacting against the object, will be located substantially proximate the head assembly in a manner substantially independent of the manner by which the grip is held. It may be desirable to have a node of the second resonant mode also located proximate the head assembly. With this or these nodes located proximate the head, the head assembly will not vibrate substantially at this or these resonant frequencies, and, consequently, spurious signals due to post-impact vibration of the head assembly will not be generated. Thus, "tuning" essentially involves changing the geometry of the mode shape so as to reduce post-impact vibration of the head assembly. Thus, the generated electrical signal will not depend upon the strength of the operator's grasp. At the same time, it is desired to have a wide range of hammer sizes. Small tap hammers are used to test small delicate parts, while large sledge hammers are used to test large structures, such as bridges and the like. Based on empirical data, the improved hammers are "tuned" by varying the ratio of the total head mass to the combined mass of the handle and grip, and by using an improved grip material which allows the handle additional freedom to vibrate after impact and provides some damping. The aforementioned empirical data is illustrated in FIG. 11.

A line of prior art test hammers made by applicant's assignee, PCB Piezotronics, Inc. of Depew, N.Y., had a variety of relative mass ratios. However, the grip material was hard, having a hardness of about 79 on a Shore "A" scale. None of these prior art test hammers was "tuned" so as to be completely independent of the manner by which the grip was held.

Applicant has discovered that an instrumented test hammer, such as previously indicated at 20 and 100, may be "tuned" so as to be substantially independent of the expertise of a particular operator. As is now under-

stood, a hammer may be "tuned" by varying the hardness or softness of the grip material, and by altering the structure of the hammer such that the ratio of the total mass of the head assembly to the combined mass of the handle and grip, is at least 1.0. The mass of a particular handle is a function of the density of the material of which the handle is made, as well as its cross-sectional shape and length. The realization of these critical limitations (i.e., grip material and mass ratio) has enabled the manufacture of a variety of test hammers, all consistently "tuned", albeit of different physical dimensions and proportions. The mass of the head assembly may be modified by addition of one or more "tuning" masses, of suitable dimensions and weight. For a small hammer, a light-weight handle, such as formed of balsa wood or graphite fiber/epoxy, may be employed. It has been applicant's experimental experience, as shown in FIG. 11, that if the grip is formed of a hard material (i.e., having a hardness of more than about 60 on a Shore "A" scale), as in the prior art hammers, regardless of the relative mass ratio, the hammer will not be predictably "tuned" so as to be substantially independent of the strength of the operator's grip and his particular expertise. On the other hand, even if a softer grip material is used, the hammer will not be independently "tuned" if the relative mass ratio is less than about 1.0. However, for softer grip materials and ratios greater than 1.0, applicant's empirical data and manufacturing experience suggest that the hammer will be predictably "tuned". At the present time, applicant is unaware of an upper limit to this relative mass ratio. Thus, whether the hammer is "tuned" or not appears to depend upon both variables, possibly inter alia.

The present invention contemplates that many changes may be made. For example, the various component parts may be of sectional construction, or may be formed integrally, as desired. The various materials of construction may be varied with predictable result. For balance, proper dimensions are a function of the density of the particular material selected. Many different materials are suitable for use as the handle, consistent with the overall design criteria. While quartz is a preferred piezo-electric material, other piezo-electric materials may be substituted therefor. Indeed, the transducer need not necessarily employ a piezo-electric material as the sensing and converting mechanism. Additional mass may be readily added to the head assembly, and/or additional damping may be added to the handle or grip, as desired. Therefore, while the two presently-preferred embodiments of the improved test hammer have been shown and described, and several modifications thereof discussed, persons skilled in this art will readily appreciate that various additional changes and modifications may be made without departing from the spirit of the invention, as defined and differentiated by the following claims.

What is claimed is:

1. An instrumented test hammer for use in exciting a test object, comprising:
 - a head assembly having an impact tip and having a transducer operatively arranged to sense the force of an impact between said tip and object and to convert such force into a proportional electrical signal;
 - an elongated handle connected to said head assembly and extending away therefrom;
 - a cushioned grip surrounding a portion of said handle at a location spaced from said head assembly;

said grip being formed of a suitable material and said head assembly, handle and grip being so dimensioned and proportioned such that the node of the first translational resonant mode of said hammer, in the plane of the direction of impact and the handle axis, after impacting against said object, is located substantially proximate said head assembly and substantially independently of the manner by which said grip is held;

thereby to substantially avoid the generation of spurious electrical signals due to post-impact vibration of said head assembly.

2. An instrumented test hammer as set forth in claim 1 wherein said handle is formed of a material having a density of about 7.5-12.5 lbs/ft³.

3. An instrumented test hammer as set forth in claim 2 wherein said handle is formed of balsa wood.

4. An instrumented test hammer as set forth in claim 1 wherein said handle is formed of a graphite fiber material.

5. An instrumented test hammer as set forth in claim 4 wherein said handle is hollow.

6. An instrumented test hammer for use in exciting a test object, comprising:

- a head assembly having an impact tip and having a transducer operatively arranged to convert the force of an impact between said object and tip into a proportional electrical signal;

- an elongated handle connected to said head assembly and extending away therefrom;

- a cushioned grip surrounding a portion of said handle at a location spaced from said head assembly, said grip having an outer surface which is adapted to be grasped by an operator, said grip being formed of a material having a hardness of not more than 60 on a Shore "A" scale;

said handle being selected of a material and being so dimensioned and proportioned that the ratio of the total mass of said head assembly to the combined mass of said handle and grip is at least 1.0, such that the node of the first translational resonant mode of said hammer, in the plane of the direction of impact and the handle axis, after impacting against said object, is located substantially proximate said head assembly and substantially independently of the manner by which said grip is held; thereby to substantially avoid the generation of spurious electrical signals due to post-impact vibration of said head assembly.

7. An instrumented test hammer as set forth in claim 6 wherein said grip is formed of a material having a hardness of 50-60 on a Shore "A" scale.

8. An instrumented test hammer as set forth in claim 7 wherein said grip is formed of a material having a hardness of about 55 on a Shore "A" scale.

9. An instrumented test hammer as set forth in claim 6 wherein said grip is formed of a material having a hardness of 34-44 on a Shore "A" scale.

10. An instrumented test hammer as set forth in claim 9 wherein said grip is formed of a material having a hardness of about 39 on a Shore "A" scale.

11. An instrumented test hammer as set forth in claim 6 wherein said grip is formed of a material having a hardness of 25-34 on a Shore "A" scale.

12. An instrumented test hammer as set forth in claim 11 wherein said grip is formed of a material having a hardness of about 30 on a Shore "A" scale.

11

13. An instrumented test hammer as set forth in claim 6 wherein said grip is formed of a material having a hardness of 5-15 on a Shore "A" scale.

14. An instrumented test hammer as set forth in claim 13 wherein said grip is formed of a material having a hardness of about 10 on a Shore "A" scale.

15. An instrumented test hammer as set forth in claim 6 wherein said handle is formed of a material having a density of about 7.5-12.5 lbs/ft³.

12

16. An instrument test hammer as set forth in claim 15 wherein said handle is formed of balsa wood.

17. An instrumented test hammer as set forth in claim 6 wherein said handle is formed of a graphite fiber material.

18. An instrumented test hammer as set forth in claim 17 wherein said handle is hollow.

19. An instrumented test hammer as set forth in claim 6 wherein said handle is formed of a material having a density of about 80-100 lbs/ft³.

* * * * *

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

Product Data

DeltaTron® Range

Miniature Accelerometer Types 4394, 4397
Accelerometer Types 4395, 4396, 4398, 4399
Charge Converter Type 2646
Power Supply ZG 0328

USES:

- Shock and vibration measurement
- Vibration analysis
- Vibration monitoring
- Vibration test control
- Product and quality control

- Charge converter for conventional accelerometers

- Adaptor for Brüel & Kjær analyzer inputs

- Accelerometers with:

- Integral preamplifiers
- All-welded construction
- Delta Shear® Uni-Gain design
- Plain or Insulated base
- Low sensitivity to all extraneous environments
- Individual standard-traceable calibration

FEATURES:

- All DeltaTron® products operate on constant-current line-drive principles

DeltaTron® is the generic name for the new family of accelerometers and signal conditioning products from Brüel & Kjær. The DeltaTron® name identifies products that are designed to operate on a constant-current power supply and to give output signals in the form of voltage modulation on the power supply line.

The DeltaTron® range described in this Data Sheet comprises:

- Piezoelectric accelerometers with integral preamplifiers.
- Charge converter for use with conventional accelerometers.
- Power supply/adaptor for use with Brüel & Kjær Signal Analyzers and other instruments with 7-pin microphone inputs.

All DeltaTron® accelerometers are individually calibrated and a calibration chart showing the individually measured frequency response curve is provided with each accelerometer.

In addition to the products described in this Data Sheet, Brüel & Kjær also supply DeltaTron® accelerometers for permanent industrial installations, a comprehensive range of Delta Shear® piezoelectric accelerometers and a wide range of signal conditioning amplifiers. Details of these products are given in their respective Product Data sheets.



DeltaTron® Accelerometers

The DeltaTron® accelerometers described here are constructed to the proven Brüel & Kjær Delta Shear® design with the addition of an integral preamplifier. They require an external constant-current, power supply and operate as voltage sources.

DeltaTron® accelerometers operate over a frequency range from below 1 Hz to approximately half the resonance frequency of the accelerometer assembly. All are supplied with individual calibration charts which give individually measured frequency response curves (see Fig. 1).

Design and Construction

PZ23 lead zirconate titanate, piezoelectric elements are used in the accelerometers, whose housings are all-welded. The accelerometers are available as types, with a plain base (no insulation), or as types with an insulated base.

On the insulated types the mounting bases are insulated by high-quality ceramic discs bonded between base and housing. Both base and housing are made of titanium, making the accelerometers very corrosion resistant.

The built-in preamplifier is a charge converter made using thick film technology. It comprises a low-noise MOS Field Effect Transistor as its input stage and a bipolar transistor to give low output impedance. A single-pole filter at the input extends the accelerometer's usable frequency range to approximately 50% of the mounted resonance frequency. Special efforts have been made to minimise interference from RF (radio frequency) electromagnetic fields.

Characteristics

Uni-Gain Sensitivity

The Brüel & Kjær Uni-Gain designation applies to all DeltaTron® accelerometers. This means that the accelerometer sensitivity is adjusted during manufacture to within 2% of either 1 or 10 mV/ms⁻².

Frequency response

The upper frequency limits given in the specifications are the frequencies where the deviation from the reference sensitivity is less than 10%. It is approximately 50% of the mounted resonance frequency. This assumes that the accelerometer is correctly mounted onto the test structure – a poor mounting can have a marked effect on the mounted resonance frequency.

The lower frequency limits and phase response are determined by the built-in preamplifiers. The lower frequency limits are given in the specifications for deviations from reference sensitivity of less than 10%.

The low damping of Brüel & Kjær accelerometers leads to the single, well-defined resonance peak shown on the frequency response curves.

The individually measured frequency response curves with absolute values of amplitude and phase are given on the calibration chart for the major part of the frequency range. At low and high frequencies, the curves given are typical (Fig. 1).

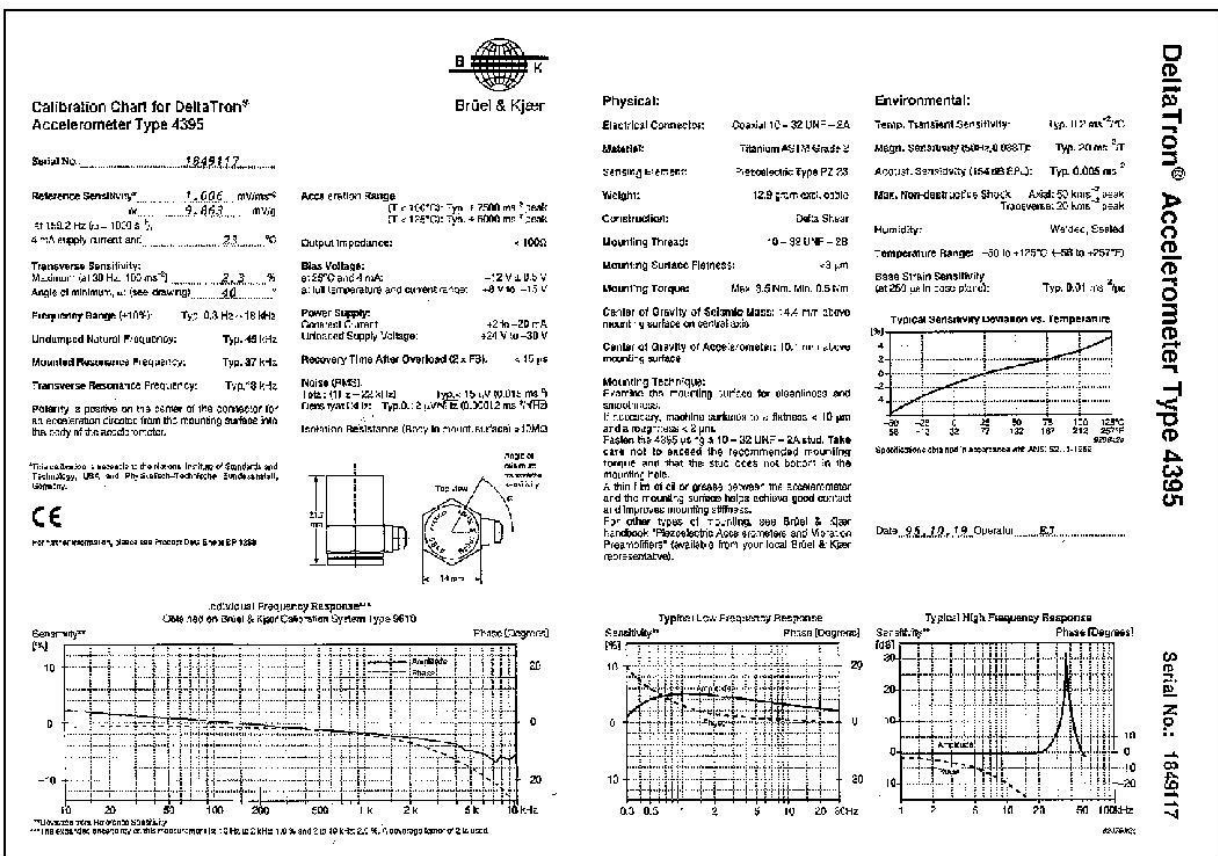


Fig. 1 Example of the calibration chart supplied with Brüel & Kjær DeltaTron® accelerometers

Transverse Sensitivity

All piezoelectric accelerometers are slightly sensitive to acceleration that is perpendicular to their main sensitivity axis. This transverse sensitivity is measured during the factory calibration process using a 30 Hz and 100 ms⁻² excitation, and is given as a percentage of the corresponding main axis sensitivity.

The direction of minimum transverse sensitivity is indicated on the calibration chart of each DeltaTron[®] accelerometer.

Transverse Resonance Frequency

Typical values for the transverse resonance frequency are obtained by mounting an accelerometer on the side of a steel cube attached to a Calibration Exciter Type 4290.

Dynamic Range

The dynamic range of an accelerometer is the range over which its electrical output is directly proportional to the acceleration applied to its base.

Upper Limit

In general, the smaller the accelerometer, the higher the vibration level at which it can be used. The upper limit depends on the type of vibration to which the accelerometer is subjected and is determined by the pre-stressing of the piezoelectric elements as well as by the mechanical strength of the element.

The acceleration ranges given in the specifications are determined by the measuring limits of the integral preamplifiers. For transporting and handling, the maximum non-destructive shock is given.

When short duration transient signals are measured, care must be taken to avoid ringing effects due to the high-frequency resonance of the accelerometer. As a general rule, the duration of a half sine shock pulse should be greater than $5/f_R$ for an amplitude error of less than 10%, where f_R is the mounted resonance frequency of the accelerometer.

Lower Limit

The lower limit is imposed by the noise level of the integral preamplifier, which has been constructed to give very low noise levels, and by the environment in which the measurements are made.

A discussion of the effect of environmental influences, can be found in the Brüel & Kjær handbook "Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers".

Electrical Impedance

All DeltaTron[®] accelerometers have integral preamplifiers and can be regarded as voltage sources. The output impedance is specified as typically less than 100 Ω . With a supply current of >4 mA output impedance is typically <30 Ω .

Environment

Temperature

DeltaTron[®] accelerometers are specified to an operating temperature range of -50°C to +125°C. Throughout this range, the sensitivity of the accelerometers has a small temperature dependence, details of this are given in the individual calibration charts (see Fig. 1).

Temperature Transients

All piezoelectric accelerometers have slight sensitivity to temperature fluctuations. This effect may be significant when low frequency, low level accelerations are being measured.

The procedure for measuring temperature transient sensitivity is described in the Brüel & Kjær handbook "Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers".

Humidity

DeltaTron[®] accelerometers have all-welded titanium housings to give them a high resistance to the majority of corrosive agents found in industry. The low impedance of the preamplifier gives it a low sensitivity to humidity on the output terminal and allows the accelerometers to be used without protection in conditions where there is small amounts of condensation.

Where heavy condensation is encountered, the use of moisture impervious cables and sealing will permit operation. Suitable sealants are Dow Corning RTV 738 or similar compounds.

Sound Pressure

The acoustic sensitivity is low, and for most vibration measurements it can be neglected. The vibration signal from the structure-under-test is normally much greater than the signal due to acoustic sensitivity.

Acoustic sensitivity is specified as an equivalent acceleration caused by a 154 dB sound pressure level in the frequency range 2 Hz to 100 Hz, but the specified value is normally valid outside this range.

Electromagnetic Compatibility (EMC)

Susceptibility of DeltaTron[®] accelerometers to radio-frequency electromagnetic radiation is also low.

The accelerometers are certified (CE) to Standards EN 50081-1 and EN 50082-2 for emission and immunity, respectively.

EN 50081-1 covers:

- Radiated emission from 30 to 1000 MHz
 - Conducted emission from 0.15 to 30 MHz.
- EN 50082-2 covers the effects of:
- Radio frequency fields from 20 to 1000 MHz at a field strength of 3 and 10 V/m with an amplitude modulation of 80%
 - Electrostatic discharge at 4 and 8 kV
 - Transient bursts at 1 kV
 - Magnetic fields from 50 Hz to 20 kHz with a strength of 30 A/m at 50 Hz

Base Strains

These can be introduced into an accelerometer by distortion of the surface to which it is attached.

Base strain sensitivity, which is minimised by the Delta Shear[®] construction, is specified in ms⁻²/με.

Mounting

DeltaTron[®] accelerometers can be mounted with their main sensitivity axis aligned in any direction.

Recommended Mounting Technique

Fig. 2 shows the recommended mounting method for DeltaTron[®] accelerometers. Steel Stud YS8321 is a flanged M3 stud which is used with Accelerometer Type 4394. It is available in sets of 25 as order number UA 1221. For the uninsulated miniature accelerometer Type 4397 steel stud YQ2003 is used. For types 4395, 4396, 4398 and 4399, steel stud YQ2962 is used. The accelerometers are screwed, using the stud, onto a clean metal surface meeting the requirements specified in Fig. 3. The optimum torque for tightening the M3 studs is between 0.2 Nm (1.8 lbf.-in) and 0.6 Nm (5.3 lbf.-in). For 10-32 UNF studs, the corresponding values are 0.5 Nm (4.4 lbf.-in) and 3.5 Nm (31 lbf.-in). To avoid possible damage to the ceramic disc, it is important that the maximum torque is not exceeded.

It should be noted when using the recommended technique, that if the

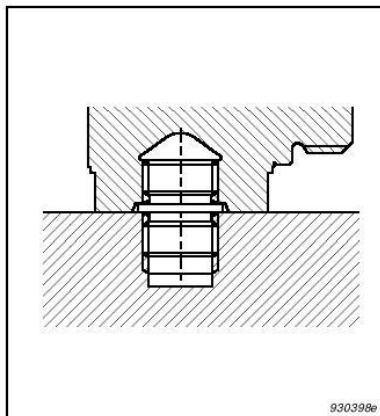


Fig. 2 Recommended mounting technique for Type 4394, using a steel stud YS 8321 (YQ 2003 for uninsulated base, Type 4397)

mounting surface is not perfectly smooth, the application of a thin layer of silicon grease to the base of the accelerometer before screwing it down on the mounting surface will improve the mounting stiffness.

Alternative Mounting Techniques

The section entitled Standard Accessories lists the mounting accessories that are supplied with individual accelerometers.

When mounting techniques other than the recommended one are used, the mounted resonance frequency of the accelerometer will probably be lowered. Most alternative mounting techniques are described in the Brüel & Kjær "Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers" handbook, where their effects on the frequency response are illustrated.

Connecting Cables

For direct connection to DeltaTron® accelerometers, miniature, double-screened low-noise, single-core, coaxial cables are available. These are a standard 1.2 m long, Teflon-insulated, cables that are supplied fitted with miniature coaxial plugs.

Types 4394 and 4397 require an M3 connector and is supplied with Cable AO1381 which is fitted with one M3 and one 10-32 UNF connector. Types 4395, 4396, 4398 and 4399 are supplied with Cable AO1382 which is fitted with two 10-32 UNF connectors. DeltaTron® Charge Converter Type 2646 is supplied without a cable, but AO0406, a 5 m cable fitted with 10-32 UNF connectors and supplied with a 10-32 UNF to BNC adaptor, is available as an accessory. As an alternative, an AO1382 cable

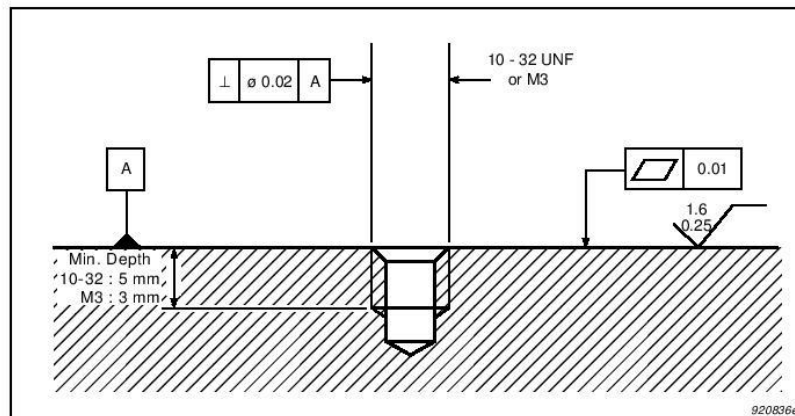


Fig. 3 Recommended tolerances for the mounting surfaces. Dimensions and symbols in accordance with ISO 1101

can be used. Additional cable lengths and connectors can be ordered.

Note, however, that for many, non-critical applications, lower quality cables or twisted pairs can be used. However, when such cables are used, the EMC certification is not valid.

Details of the accelerometer connections and recommended plug clearances are given in the section entitled Accelerometer Dimensions.

Maximum Cable Length

The maximum output voltage of a DeltaTron® accelerometer depends on the supply current at which it is operating, and on the capacitive load due to the connecting cable.

Fig. 4 shows typical curves for maximum output levels with supply currents of 2 and 20 mA (for distortion $\leq 1\%$). The maximum cable length in metres (L) is given by:

$$L = 75000 \times \frac{I_s}{f \times V_o \times C_m}$$

where:

I_s = supply current [mA]

f = frequency [kHz]

V_o = output voltage [V_{peak}]

C_m = cable capacitance [pF/m]

If the supply current is less than 4 mA, the power consumption of the built-in preamplifier becomes significant and this formula cannot be applied.

Calibration

Factory Calibration

All Brüel & Kjær Accelerometers are thoroughly checked and examined at each stage of manufacture and assembly. Every accelerometer under-

goes an extensive calibration procedure and artificial ageing process to ensure completely predictable performance and stable operation. Accurate numerical details of the calibration are reported on the calibration chart supplied with each transducer (see Fig. 1).

At Brüel & Kjær, piezoelectric accelerometers are calibrated by back-to-back comparison with a primary reference standard accelerometer which is regularly calibrated by laser interferometry at the Danish Primary Laboratory of Acoustics and by both the American National Institute of Standards and Technology and the German Physikalisch-Technische Bundesanstalt. The overall accuracy of the back-to-back comparison is 2% with a 99.9% confidence level (1.6% for a 99% confidence level), while for the interferometry method the accuracy is better than $\pm 0.6\%$ with a 99% confidence level.

Subsequent Calibration

Regular calibration of accelerometers helps maintain confidence in the measurements taken and indicates whether accelerometers have been damaged. Brüel & Kjær manufacture a range of equipment for frequency response, sensitivity and system calibrations, details of which are available in separate Product Data Sheets.

Individual Accelerometers

Dimensions and specifications for the accelerometers can be found in the schemes given towards the end of this Data Sheet.

Miniature Accelerometer Type 4394 and 4397

These accelerometers are suitable for measurements on lightweight structures where relatively high-level, high-frequency vibrations are encountered.

Shock and Vibration Accelerometer Type 4395 and 4398

Type 4395 and 4398 accelerometers are designed for the measurement of relatively high levels of continuous vibration and mechanical shock up to 7500 ms^{-2} .

General Purpose Accelerometer Type 4396 and 4399

These accelerometers are intended to be used for general purpose vibration measurements.

Charge Converter Type 2646

Charge Converter Type 2646 is a signal conditioner designed for use with standard piezoelectric accelerometers or other piezoelectric transducers. It requires an external, constant-current power supply, and its function is to convert a charge input to a voltage-modulation of the constant-current power supply lines.

Type 2646 is also designed to withstand severe environments so that it can be mounted directly onto transducers with 10–32UNF top connectors, or located in close proximity to transducers with side connectors.

For miniature size and low weight, Type 2646 has thick film electronics that are double sealed in a silicone elastomer compound and contained in a titanium housing. Type 2646 is supplied without a cable, however there is a space in the case for storing a cable. Cables AO 0406 and AO 1382 are available as accessories.

Full specifications are given on the last page of this Data Sheet, and the

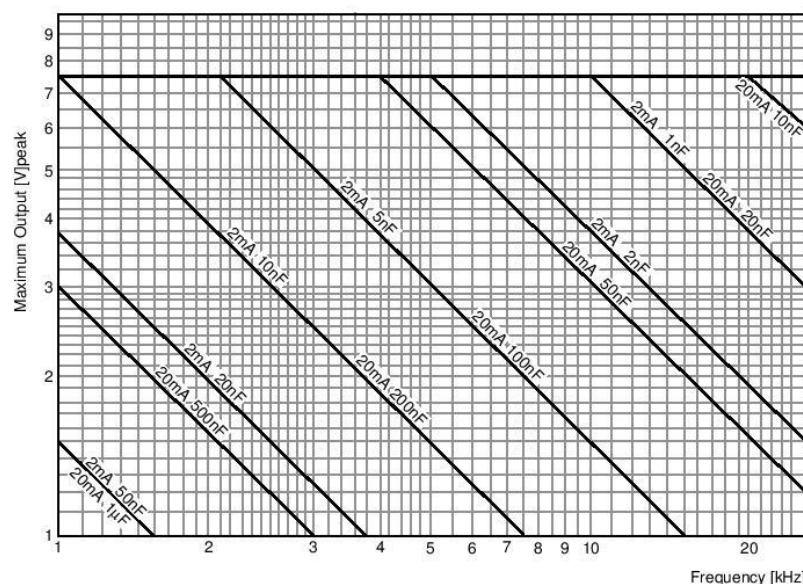


Fig.4 Typical curves for maximum output level of DeltaTron® accelerometers, showing maximum capacitive load over the recommended current supply range

extensive range of accelerometers that are suitable for use with Type 2646 are described in the Brüel & Kjær Data Sheet "Piezoelectric Accelerometers" (BP0196).

Power Supply Adaptor ZG 0328

The Power Supply Adaptor ZG 0328 is designed to connect directly into the 7-pin microphone (preamplifier) socket that is provided on many Brüel & Kjær instruments (except Types 2230 to 2235). The function of ZG 0328 is to adapt the socket for direct use with DeltaTron® accelerometers.

From the power available in the microphone socket, ZG 0328 provides the constant-current drive for the accelerometer and the signal input to the microphone socket.

How to Order Accelerometers

Accelerometers are available as standard or as a **Set**.

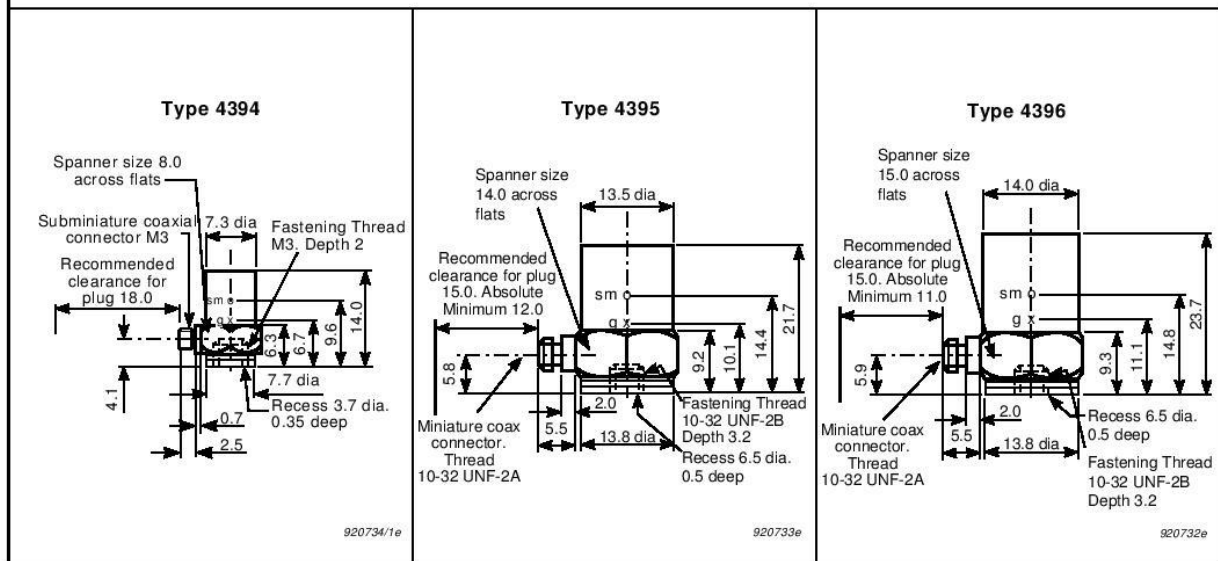
As standard an accelerometer is supplied with a cable and mounting studs (for example Order No. **4395**).

An **Accelerometer Set** (suffix S after the type number) consists of a single accelerometer complete with cable and accessories in a case.

A complete list of the accessories supplied with each set or standard version, is given in the section on Standard Accessories. Additional accessories are available on separate order.

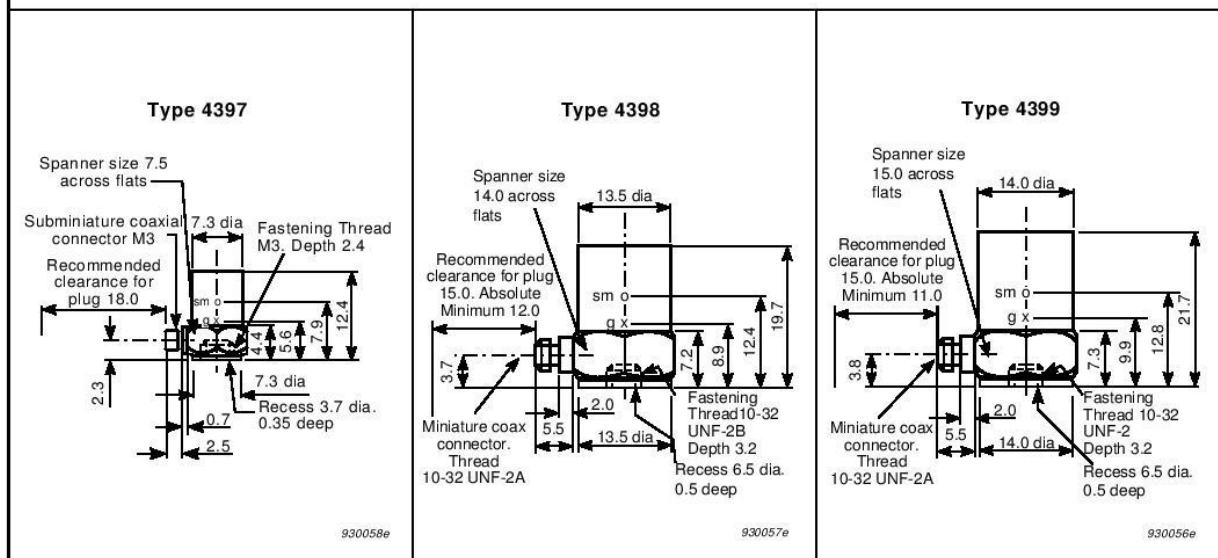
Accelerometer Dimensions Insulated Base

Shown full scale
All dimensions in mm



Accelerometer Dimensions Uninsulated Base

Shown full scale
All dimensions in mm

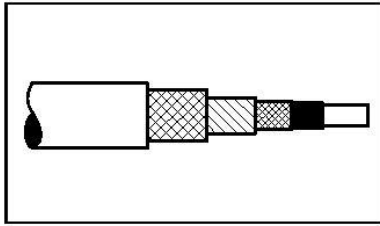


Standard Accessories

B & K Part Number	Standard Accessories	4394		4395		4396		4397		4398		4399	
		S		S		S		S		S		S	
AO 1381	Teflon low-noise cable, double screened AC 0104 (∅ 1.6 mm). Fitted with one 10–32 UNF and one M3 connector. Length 1.2 m	1	1					1	1				
AO 1382	Teflon low-noise cable, double screened AC 0104 (∅ 1.6 mm). Fitted with two 10–32 UNF connectors. Length 1.2 m			1	1	1	1			1	1	1	1
JJ 0032	Extension connector for cables fitted with 10–32 UNF connectors	3		3		3		3		3		3	
JP 0145	10–32 UNF to BNC adaptor	1		1		1		1		1		1	
YS 8321	Steel stud M3/M3 (UA 1221 is a set of 25 of these studs)	3	3										
YQ 2003	Steel Stud M3, 5 mm long							3	3				
YQ 2960	10–32 UNF threaded steel stud. Length 0.5 in.			2		2				2		2	
YQ 2962	10–32 UNF threaded steel stud. Length 0.3 in.			3	1	3	1			3	1	3	1
YM 0414	10–32 UNF nut			1		1				1		1	
QA 0041	Tap for M3 thread	1						1					
QA 0029	Tap for 10–32 UNF thread			1		1				1		1	
DB 0757	Cement stud M3. Diameter 8 mm	1						1					
DB 0756	Cement stud 10–32 UNF. Diameter 14 mm			1		1				1		1	
QA 0042	Hexagonal key for M3 studs	1						1					
QA 0013	Hexagonal key for 10–32 UNF studs			1		1				1		1	
YJ 0216	Beeswax for mounting	1		1		1		1		1		1	
UA 0642	Mounting magnet with 10–32 UNF stud			1		1				1		1	
YO 0073	25 × adhesive mounting disc. Diameter 5.5 mm	1						1					
QS 0007	Tube of cyanoacrylate adhesive	1						1					
BC 0200	Individual calibration chart	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Accessory set included with S version	UA 1218		UA 1219		UA 1219		UA 1218		UA 1219		UA 1219	

Table 1 The accelerometers can be ordered as standard version (for example: Order No. 4395) or as an “S” version (for example: Order No. 4395 S). This table gives details about which accessories are supplied with accelerometers in the standard version and which are supplied with the “S” version

Additional Accessories Available

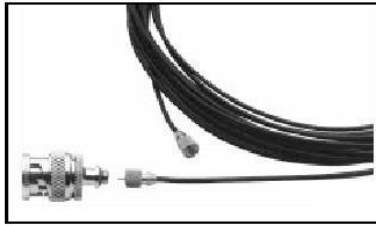


AC0104. Teflon insulated double screened low-noise cable (illustrated).

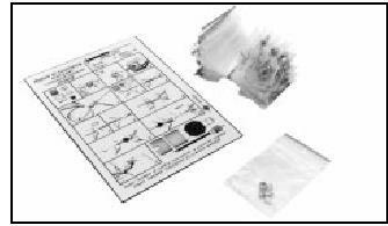
AC0005. Teflon insulated super low-noise cable.

AC0200. Reinforced double screened version of AC0005.

AC0208. PVC coated cable
The EMC certification (CE) is only valid for AC0104.

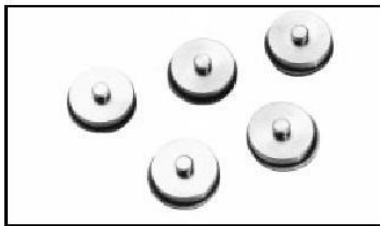


AO0406. Teflon insulated double screened cable AC0104 fitted with 10-32 UNF connectors and supplied with a 10-32 UNF to BNC adaptor (JP0145). Length 5m.

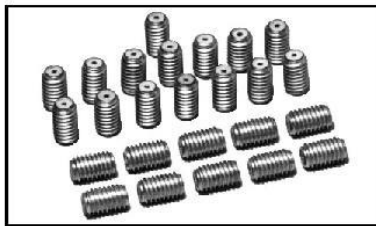


UA0130. Set of 25 plugs JP0012 for cable AC0104 and AC0005.

UA0730. Set of 25 plugs JP0056 for cable AC0200. For mounting the plugs, the assembly tool QA0035 is required.



UA0643. Set of 5 10-32 UNF mounting magnets UA0642. Includes PTFE self adhesive discs for electrical insulation.



UA0186. Set of 25 extension connectors JJ0032 for miniature cables with plugs JP0012 and JP0056.



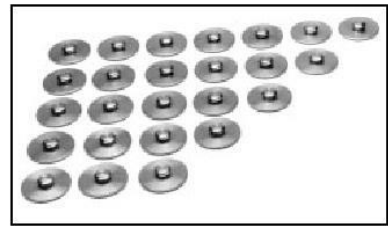
UA0553. Set of 5 electrically insulated Mechanical Filters UA0559, plus a tommy bar for mounting.



JP0145. 10-32 UNF to BNC adaptor for connection of cables with miniature coaxial plugs JP0012 and JP0056.

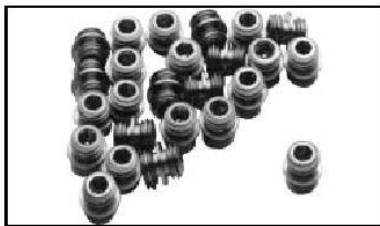


QA0035. Assembly tool for mounting miniature plugs on accelerometer cables.



UA0866. Set of 25 10-32 UNF cement studs DB0756.

UA0867. Set of 25 M3 cement studs DB0757.



UA1221. Set of 25 steel studs YS8321.



UA0125. Set of 10 insulating studs YP0150, 10 steel studs YQ2960, 10 nuts YM0414, 10 mica washers YO0534 plus 10-32 UNF tap and hexagonal key for 10-32 UNF studs.

Accelerometer Specifications Insulated Base

Dynamic

Mounted Resonance Frequency, typical	kHz	52	37	28
Transverse Resonance Frequency, typical	kHz	15	13	9

Electrical

Case Insulation to Ground	MΩ	> 10		
---------------------------	----	------	--	--

Environmental

Base Strain Sensitivity, typical	ms ⁻² (g)/με	0.005 (0.0005)	0.01 (0.001)	0.005 (0.0005)
----------------------------------	-------------------------	----------------	--------------	----------------

Physical

Weight	gram (oz)	2.9 (0.10)	12.9 (0.46)	18.2 (0.64)
Height	mm (in)	14.0 (0.55)	21.7 (0.85)	23.7 (0.93)
Spanner Size	mm (in)	8.0 (0.31)	14.0 (0.55)	15.0 (0.59)

Accelerometer Specifications Uninsulated Base

Dynamic

Mounted Resonance Frequency, typical	kHz	53	38	29
Transverse Resonance Frequency, typical	kHz	17	14	10

Environmental

Base Strain Sensitivity, typical	ms ⁻² (g)/με	0.005 (0.0005)	0.02 (0.002)	0.01 (0.001)
----------------------------------	-------------------------	----------------	--------------	--------------

Physical

Weight	gram (oz.)	2.4 (0.09)	11.8 (0.42)	17.1 (0.60)
Height	mm (in)	12.4 (0.49)	19.7 (0.77)	21.7 (0.85)
Spanner Size	mm (in)	7.5 (0.30)	14.0 (0.55)	15.0 (0.59)

Common Specifications for Both Types of Accelerometers

Dynamic

		Type 4394 Type 4397	Type 4395 Type 4398	Type 4396 Type 4399
Sensitivity (axial) at 159.2 Hz, 100 ms ⁻² (10.2 g), 25°C (77°F), 4 mA	mV/ms ⁻² (/g)	1.00 (9.807) ± 2 %		10.0 (98.07) ± 2 %
Measuring Range (peak), typical	temperature < 100°C (212°F)	± 7500 (765)		± 750 (76)
	temperature < 125°C (257°F)	± 5000 (510)		± 500 (51)
Frequency Range (±10%), typical.*	Hz	1 to 25000	0.3 to 18000	1 to 14000
Maximum Transverse Response	%	< 4		

*Note: The frequency range from 10 Hz to 10 kHz is measured individually and shown on the calibration chart supplied. The expanded uncertainty on this measurement is: 1.0% from 10 Hz to 2 kHz and 2.0% from 2 kHz to 10 kHz at 2σ (i.e. expanded uncertainty using a coverage factor of 2)

Common Specifications for Both Types of Accelerometers (Cont.)

Electrical

Constant Current Supply	temperature <100°C (212°F)	mA	+2 to +20			
	temperature <125°C (257°F)	mA	+2 to +10	+2 to +20		
Supply Voltage, unloaded	for full specification	V DC	+24 to +30			
	minimum (reduced specification)	V DC	+18			
Output Impedance		Ω	<100			
Bias Voltage	at 25°C (77°F), 4 mA	V	12 ±0.5			
	full temperature and current range	V	8 to 15			
Residual Noise, typical	from 1 to 22000 Hz	μV	<25	<15	<40	
	equivalent acceleration	ms ⁻² (g)	<0.025 (0.0026)	<0.015 (0.0015)	<0.004 (0.0004)	
Polarity (acceleration directed from base into body)			Positive			
Recovery time from Overload (2×maximum level)			μs	<20	<15	<25

Environmental

Maximum Non-destructive Shock (peak)	Axial	ms ⁻² (g)	100000 (10200)	50000 (5100)	20000 (2040)
	Transverse	ms ⁻² (g)	50000 (5100)	20000 (2040)	10000 (1020)
Temperature Range		°C (°F)	-50 to +125 (-58 to +257)		
Humidity			Welded, sealed		
Temperature Transient Sensitivity, typical		ms ⁻² /°C (g/°F)	2 (0.1)	0.2 (0.01)	0.1 (0.006)
Magnetic Sensitivity (50 Hz, 0.038 T), typical		ms ⁻² (g)/ T	10 (1)	20 (2)	5 (0.5)
Acoustic Sensitivity (154 dB SPL), typical		ms ⁻² (g)	0.01 (0.001)	0.005 (0.0005)	0.002 (0.0002)

Physical

Construction		Delta Shear			
Piezoelectric Material		PZ 23			
Case Material	Titanium	ASTM Gr. 2			
Connector	Coaxial	M3 miniature	10-32 UNF		
Mounting Thread	Tapped center-hole	M3	10-32 UNF		
Mounting Torque	Nm (lb.in)	0.2 to 0.6 (1.8 to 5.3)	0.5 to 3.5 (4.4 to 31)		

Compliance with Standards

	CE-mark indicates compliance with: EMC Directive				
Safety	EN 61010-1 and IEC 1010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use.				
EMC Emission	EN 50081-1: Generic emission standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50081-2: Generic emission standard. Part 2: Industrial environment. CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits. FCC Class B limits				
EMC Immunity	EN 50082-1: Generic immunity standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50082-2: Generic immunity standard. Part 2: Industrial environment. Note: The above is guaranteed using accessories listed in this Product Data sheet only.				
Temperature	IEC 68-2-1 & IEC 68-2-2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat. Operating Temperature: -50 to +125°C (-58 to +257°F)				
Humidity	IEC 68-2-3: 90% RH (non-condensing at 40°C (104°F))				

Specifications for DeltaTron® Charge Converter Type 2646



Charge Input

INPUT CONNECTOR:

10–32UNF coaxial. Used for direct attachment of 2646 to an accelerometer that has a top mounted connector. Also accepts a miniature accelerometer cable for side-by-side mounting with an accelerometer

MAXIMUM SINUSOIDAL INPUT:

7.5×10^3 pC peak at temperatures between –50 and +100°C (–58 and +212°F), decreasing to 5×10^3 pC at +125°C (257°F)

INPUT CAPACITANCE: >200 nF

Amplifier Response

SENSITIVITY:

1 mV/pC $\pm 1\%$ at 25°C (77°F) with a constant current of 4 mA

FREQUENCY RANGE:

0.3 Hz to 100 kHz (–10% limits)

NOISE RMS (referred to input terminated with a transducer capacitance of 1 nF):

Inherent, lin. 1 Hz to 22 kHz: $<15 \times 10^{-3}$ pC

Density at 10 Hz: 0.80×10^{-3} pC/√Hz

100 Hz: 0.28×10^{-3} pC/√Hz

1 kHz: 0.12×10^{-3} pC/√Hz

10 kHz: 0.05×10^{-3} pC/√Hz

Electromagnetic: 5 pC/T (50 Hz, 0.038 T)

RECOVERY TIME (2×FS): <15 μs

Output

OUTPUT CONNECTOR:

10–32UNF coaxial. Used for both signal output and power input through a single coaxial cable

PHASE (output referred to input): Inverted

OUTPUT IMPEDANCE: <100 Ω

Power Supply

CONSTANT CURRENT: +2 to +20 mA

UNLOADED SUPPLY VOLTAGE:

+24 to +30 V (minimum: +18 V with reduced specification)

BIAS VOLTAGE:

+12 ± 0.5 V at 4 mA and 25°C. For full temperature and current range, the bias voltage range is +8 to +15 V

Environmental

TEMPERATURE RANGE:

–50 to +125°C (–58 to +257°F). Sensitivity temperature coefficient is within $\pm 0.03\%/^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.016\%/^{\circ}\text{F}$)

HUMIDITY:

0 to 90% RH (non-condensing) without extra sealing

VIBRATION INDUCED NOISE:

1×10^{-3} pC/ms^{–2} (0.01 pC/g)

MAXIMUM PHYSICAL SHOCK:

50 kms^{–2} (5100 g) peak

MAXIMUM INPUT WITHOUT DAMAGE:

50000 pC

CASE MATERIAL: Titanium ASTM Gr. 2

Dimensions and Weight

Diameter: 13.5 mm (0.53 in)

Height: 16.0 mm (0.64 in)

Weight: 5.3 g (0.19 oz.)

Note: All values are typical at 25°C (77°F), unless measurement uncertainty is specified

COMPLIANCE WITH STANDARDS:

CE	CE-mark indicates compliance with: EMC Directive.
Safety	EN 61010–1 and IEC 1010: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use.
EMC Emission	EN 50081–1: Generic emission standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50081–2: Generic emission standard. Part 2: Industrial environment. CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits. FCC Rules, Part 15: Class B limits.
EMC Immunity	EN 50082–1: Generic immunity standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50082–2: Generic immunity standard. Part 2: Industrial environment. Note 1: The above is guaranteed using accessories listed in this Product Data sheet only. Note 2: Sensitivity to RF common-mode, injected to signal line (in accordance with EN 50082–2): <70 μV (13 dB), with the converter connected directly to the accelerometer <900 μV (35 dB), with a cable between the converter and the accelerometer
Temperature	IEC 68–2–1 & IEC 68–2–2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat. Operating Temperature: –50 to +125°C (–58 to +257°F)
Humidity	IEC 68–2–3: Damp Heat: 90% RH (non-condensing at 40°C (104°F))

Ordering Information

Type 2646 DeltaTron® Charge Converter
Includes the following accessories:
JJ 0032: Cable Extension Connector (10–32UNF)
2 × YJ 0606: O–Ring

Specifications for DeltaTron® Power Supply ZG 0328

 SHORT-CIRCUIT CURRENT: 3 ± 0.9 mA UNLOADED SUPPLY VOLTAGE: 27 V DYNAMIC IMPEDANCE: > 100 kΩ NOISE RMS (inherent, Lin. 1 Hz to 22 kHz): < 50 nA OUTPUT: Transducer signal connected to pin 4 of the microphone socket TRANSDUCER CONNECTOR: BNC SUPPLY CONNECTOR: Standard Brüel & Kjær 7-pin microphone plug Environmental TEMPERATURE RANGE: -10 to $+55^{\circ}\text{C}$ ($+14$ to $+131^{\circ}\text{F}$) HUMIDITY: 0 to 90% RH (non-condensing) CASE MATERIAL: Nickel-coated Brass Dimensions and Weight Diameter: 26.5 mm (1.04 in.) Length: 52.5 mm (2.07 in.) Weight: 48.5 g (1.707 oz.) Note: All values are typical at 25°C (77°F), unless measurement uncertainty is specified.	COMPLIANCE WITH STANDARDS: <table> <tr> <td>CE</td><td>CE-mark indicates compliance with: EMC Directive.</td></tr> <tr> <td>Safety</td><td>EN 61010-1 and IEC 1010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use.</td></tr> <tr> <td>EMC Emission</td><td>EN 50081-1: Generic emission standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50081-2: Generic emission standard. Part 2: Industrial environment. CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits. FCC Rules, Part 15: Class B limits.</td></tr> <tr> <td>EMC Immunity</td><td>EN 50082-1: Generic immunity standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50082-2: Generic immunity standard. Part 2: Industrial environment. Note 1: The above is guaranteed using accessories listed in this Product Data sheet only. Note 2: Sensitivity to magnetic fields (30 A/m, 50 Hz): 80 nA</td></tr> <tr> <td>Temperature</td><td>IEC 68-2-1 & IEC 68-2-2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat. Operating Temperature: -10 to $+55^{\circ}\text{C}$ ($+14$ to $+131^{\circ}\text{F}$) Storage Temperature: -25 to $+70^{\circ}\text{C}$ ($+13$ to $+158^{\circ}\text{F}$)</td></tr> <tr> <td>Humidity</td><td>IEC 68-2-3: Damp Heat: 90% RH (non-condensing at 40°C (104°F))</td></tr> <tr> <td>Mechanical</td><td>Non-operating IEC 68-2-6: Vibration: 0.3 mm, 20 m/s^2, 10–500 Hz IEC 68-2-27: Shock: 1000 m/s^2 IEC 68-2-29: Bump: 4000 bumps at 400 m/s^2</td></tr> </table>	CE	CE-mark indicates compliance with: EMC Directive.	Safety	EN 61010-1 and IEC 1010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use.	EMC Emission	EN 50081-1: Generic emission standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50081-2: Generic emission standard. Part 2: Industrial environment. CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits. FCC Rules, Part 15: Class B limits.	EMC Immunity	EN 50082-1: Generic immunity standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50082-2: Generic immunity standard. Part 2: Industrial environment. Note 1: The above is guaranteed using accessories listed in this Product Data sheet only. Note 2: Sensitivity to magnetic fields (30 A/m, 50 Hz): 80 nA	Temperature	IEC 68-2-1 & IEC 68-2-2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat. Operating Temperature: -10 to $+55^{\circ}\text{C}$ ($+14$ to $+131^{\circ}\text{F}$) Storage Temperature: -25 to $+70^{\circ}\text{C}$ ($+13$ to $+158^{\circ}\text{F}$)	Humidity	IEC 68-2-3: Damp Heat: 90% RH (non-condensing at 40°C (104°F))	Mechanical	Non-operating IEC 68-2-6: Vibration: 0.3 mm, 20 m/s 2 , 10 – 500 Hz IEC 68-2-27: Shock: 1000 m/s 2 IEC 68-2-29: Bump: 4000 bumps at 400 m/s 2
CE	CE-mark indicates compliance with: EMC Directive.														
Safety	EN 61010-1 and IEC 1010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use.														
EMC Emission	EN 50081-1: Generic emission standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50081-2: Generic emission standard. Part 2: Industrial environment. CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits. FCC Rules, Part 15: Class B limits.														
EMC Immunity	EN 50082-1: Generic immunity standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50082-2: Generic immunity standard. Part 2: Industrial environment. Note 1: The above is guaranteed using accessories listed in this Product Data sheet only. Note 2: Sensitivity to magnetic fields (30 A/m, 50 Hz): 80 nA														
Temperature	IEC 68-2-1 & IEC 68-2-2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat. Operating Temperature: -10 to $+55^{\circ}\text{C}$ ($+14$ to $+131^{\circ}\text{F}$) Storage Temperature: -25 to $+70^{\circ}\text{C}$ ($+13$ to $+158^{\circ}\text{F}$)														
Humidity	IEC 68-2-3: Damp Heat: 90% RH (non-condensing at 40°C (104°F))														
Mechanical	Non-operating IEC 68-2-6: Vibration: 0.3 mm, 20 m/s 2 , 10 – 500 Hz IEC 68-2-27: Shock: 1000 m/s 2 IEC 68-2-29: Bump: 4000 bumps at 400 m/s 2														

Ordering Information

ZG 0328 DeltaTron® Power Supply Includes the following accessories: JP 0145: 10–32 UNF to BNC adaptor		
--	--	--

Brüel & Kjær reserves the right to change specifications and accessories without notice

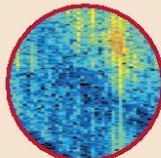
Bijlage 3: Technische fiche dBFA Software Suite

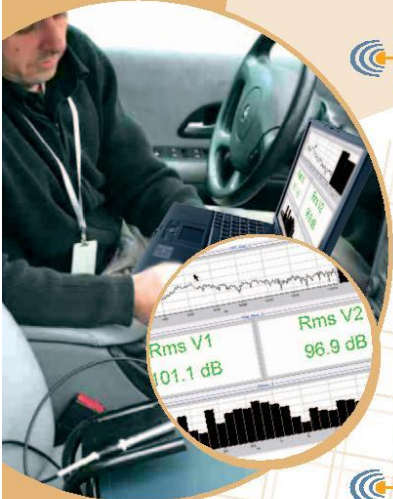


Product Data

dBFA Suite

Easy Tools for NVH Analysis



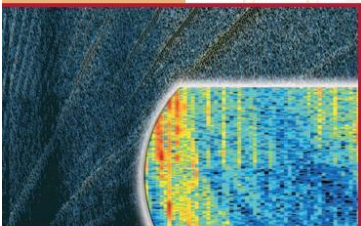


dBFA Key Benefits...

Multi-platform real time recording and analysis for daily operations? That's what dBFA Software Suite is offering you and even more!

- Significant improvement of your NVH Measurements and Analysis:
 - Parallel Real time processing and recording
 - Applications oriented processing tools
 - Automated functions for time and cost saving
 - Data Import/Export capabilities

dBFA with its modular architecture allows you to buy just what you need for fulfilling industrial requirements in numerous fields:
Automotive, Railway, Aeronautics, Space, Mechanics, Materials, Household appliances, Electro-acoustics, Information technology, Telecommunications, ...



dBFA Key Features...

Multi-platform data acquisition up to 2048 channels

- ▶ Solo: **Symphonie; Harmonie; Orchestra; NetdB-DAQ;** NI USB-9233, PXI & PCI; VXI E1432A, ...
- ▶ **Networking of different analyzer configurations** with time conditions in order to reduce your test time
- ▶ **Real-time monitoring** of the recorded Noise & Vibration signals
- ▶ **Replay mode** for the measured data stored with all real time processing

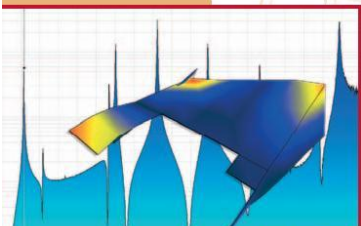
Multi-platform

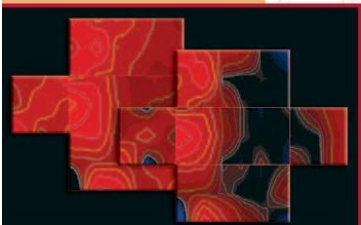
- ▶ **Simultaneous real-time multi-analysis**
Averaged and multi-spectra with FFT and 1/1 down to 1/48 octave, cross-spectra and frequency response functions, order analysis, ...
- ▶ **Transient & Impact Testing analysis**
customizable, with an enhanced path management for modal analysis
- ▶ Numerous **application oriented post-processing functions** with analysis scripts

A complete set of tools for data management and reporting

- ▶ **Transducers Database** management: Sensors, calibrators, calibration history,...
- ▶ **Data Import:** UFF58, Wave, nCODE, Matlab™, ASAM/ODS, SONY, TEAC (Digital format)
- ▶ **Data Export:** ASCII, Wave, MeScope™, Matlab™, mp3, Lexade, SDF...
- ▶ Powerful bi-directional **link to Matlab™** and compatibility with Office software
- ▶ **Automatic reporting** capabilities from real-time and post-processing modules









01dB-Metravib
www.01db-metravib.com



dBFA Technical Specifications

GENERAL NOISE AND VIBRATIONS	Features	dBFA
	Signal	Decimation; Resampling; HP, LP, BP, Stop-band, Notch Filters; Denoising...
	Overall levels	Leq with frequency weightings; Lp with time (Fast, Slow) and frequency weightings (A, B, C); Acceleration; Velocity; Displacement with Human vibrations weightings, ...
	Statistics	Min; Max; Peak; Peak to Peak; Average; RMS; RMS band; Standard deviation; Skew; Kurtosis. Averaged and vs. time, ...
	FFT	Up to 12800 lines; Overlap from 0 to 75%; Hanning, Hamming, Flat-top, Rectangular...; Zoom up to 256; Multispectrum vs. time and rpm with user-defined analysis step; Averaged spectrum with linear, exponential, hold max; Auto and Cross spectrum; H1, H2, 1/H1, 1/H2, Coherence; Auto- and Cross-correlation, ...
	1/N octave	From 1/1 to 1/48 octave; digital filtering according IEC61260 class 1; Multispectrum vs. time and rpm with user-defined analysis step; Averaged spectrum with linear, exponential, hold max, ...
	Tacho	Real time conversion to rpm profile with trigger, hysteresis, hold-off; Average; Pulses per revolution; Conversion factor; Min and Max limits, ...
APPLICATIONS	Order	Both FFT and Resampling techniques available; Order resolution down to 0.01; Rpm resolution down to 1 rpm; Fast and accurate
	Time Frequency	FFT; 1/N octave; Wigner-Ville; Wavelets; Capon; Auto-regressive
	Sound Intensity	Simultaneous Li and Lp measurements; Sound power according to ISO 9614 part 1 & 2; Sound Mapping
	Human Vibrations	All frequency weightings according to ISO8041, ISO 2631 1&2, ISO 5349 and BS6841 for Whole Body and Hand / Arm Vibrations; VDV, eVDV (estimated), MTWV and 3 axis overall vibration values calculations (performed with individual or axis combination with different weightings); VDV time history with variable time integration and cumulative or noncumulative Time
GRAPHICS & REPORT	Structural Analysis	Real-time and off-line transient analysis on impulses, shocks, sparks, gun shots; Impact testing analysis (structural analysis); Real-time vibration signals recording and frequency analysis (hammer testing); Management of the acquisition geometry (excitation and response location on the tested structure); Trigger capabilities (channel, positive or negative delay, AND/OR conditions...); Customized signal windowing and filtering; Auto and cross-functions (cross-spectra, FRF's, coherence); Export capability (JFF58, Me'Scope,...) for modal analysis processing
	Rotating Machines	Tachometric acquisition and real time RPM profile calculation; Order analysis for rotating machinery, rotation run-ups and coast downs; Order extraction, cycle defaults, order filtering; Order tracking; Real-time or off-line mode providing overall levels of rotation speed orders (Automatic speed profiles processing based on accurate dating of rotation speeds); 2D and 3D FFT and Orders spectrograms for sound and vibration signals
GRAPHICS & REPORT	Cursors	Single; Double; Harmonics; Sidebands; Max; MultiMax
	Display	2D; 3D; Spectrogram and Waterfall; Graphical zoom
	RT Automation	Optimize your test time; Customize your tests; Chain and/or repeat different acquisition and real-time analysis with time conditions (hour, delay,...) and user confirmation between each
GRAPHICS & REPORT	Automatic report	Generate your own report automatically in Word™ after your real-time analysis or from dBFA post-processing; Fully customizable

PRODUCT REQUIREMENTS

Recommended PC: Minimum configuration with Pentium IV™ (2.4 GHz) or Centrino™ (1.6 GHz) with 512MB RAM, 40GB HDD; XGA display; OS Win 2000 SP4 or Win XP SP1

01dB-Metravib

200, Chemin des Ormeaux
F-69578 Limonest Cedex
Tel.: +33 (0)4 72 52 48 00
Fax.: +33 (0)4 72 52 47 47

industries@01db-metravib.com
www.01db-metravib.com

Your local contact point :

The presented characteristics are subject to change without notice. Rev. 10/2006



Bijlage 4: Technische fiche pleister van Parijs

Voordelen

Ideaal voor allerlei soorten gespecialiseerde vakgebieden (stukadoors, metselaars, elektriciens, loodgieters, schilders). - Aangepaste uithardingstijd voor verankering en opvulwerken.

Verwerkingsadvies

Het product aanbrengen op een goed bevochtigde ondergrond en slechts kleine hoeveelheden mengen.



TECHNISCHE DEFINITIE

Natuurlijke pleisterkalk voor gietingen, verankeringen en opvulwerken binnen. Ook voor reliëfdecoratie.

SAMENSTELLING

Poederplamuur op basis van gips, bindingsvertrager en verdikkingsmiddel. De verkregen pasta is wit van kleur.

SOORTEN ONDERGROND

Beton, mortel, vezelplaten, strijkcement, gipsbakstenen, gips, prefabwanden.

AFWERKING

Zodra de plamuurlaag volledig droog is, kan deze worden bedekt met alle soorten verf, plamuur op basis van gips, pastaplamuur, behanglijm. De tegellijmen moeten worden aangepast aan de gipsondergrond.

TE RAADPLEGEN DOCUMENTEN

DTU 25.1: plamuurwerken binnen met pleisterkalk.

TECHNISCHE KENMERKEN

Korrel: fijn.
pH: neutraal.
Aanvang uithardingsproces: 45 mm.
Einde uithardingsproces: 1 uur.

VERPAKKING

Zakken van 1,5 en 5 kg op een palet met hoes.

OPSLAG

9 maanden in de originele verpakking, niet geopend en niet blootgesteld aan vocht.

VOORZORGSMAAATREGELEN

Het aanbrengen en drogen moet gebeuren bij een temperatuur tussen 8 en 35°C. Geen pasta gebruiken die al hard aan het worden is. Het product aanbrengen op een bevochtigde ondergrond.

VOORZORGSMAAATREGELEN

De ondergrond moet conform DTU 59.1 zijn, d.w.z. proper, droog, stofvrij en ontdaan van alle resten ontkistingsolie.

MENGVERHOUDING

2,5 à 3 liter water per zak van 5 kg.

VERBRUIK

Ongeveer 0,8 kg/m²/mm dikte.



P131

04/2011

P131 Knauf Goldband

Pleistergips

Materiaal, toepassingsgebied, eigenschappen, verwerking

Materiaal

Knauf Goldband voldoet aan mortelgroep IV b van DIN 18550 (speciegroep P IV b3, volgens STABUstandaardbepalingen) waaraan toelaststoffen zijn toegevoegd. Daardoor toegestaan voor alle binnenwand- en plafondpleisters (inclusief keukens en badkamers in woningen). Conform de ATG 1617 en Kiwa K 2572.

Toepassingsgebied

Knauf Goldband-gebruiksklare gipsmortel is geschikt voor binnenpleisters in één laag die met de hand wordt verwerkt op normale pleisterondergronden (ruwe en zuigende ondergronden) als metselwerk, opgekamde basispleisters, pleisterdragers (Knauf Stucplaat, Stucanet), in renovatie en nieuwbouw, behalve vochtige bedrijfsruimtes.

Bijzondere eigenschappen

- gemakkelijk aanmaken (gemengd op de fabriek, daarom alleen in water strooien en mixen)
- smeug, hoog rendement
- soepel
- pleisteren in één laag
- verwerking met de hand
- voldoende verwerkingstijd
- wordt gelijkmatig hard

Technische gegevens

Volumieke massa	± 650 kg/m ³
Drukweerstand	> 3,0 N/mm ²
Buigweerstand	> 1,2 N/mm ²
Verbruik	ca. 0,8 kg par mm/m ²
Elasticiteitsmoduul	ca. 2170 N/mm ²
μ volgens DIN 4108	10

Verpakking

In zakken van 25, 10 en 4 kg.



Verwerking

Behandeling van de ondergrond

Geschikt als pleisterondergronden zijn: metselwerk in blokken of stenen, cellenbeton, metalen pleisterdragers van het type Stucanet, Métal Déployé (ribbenstrek)..., Knauf Stucplaten, houtwolcementplaten, enz.

Pleisterondergrond ontdoen van stof en losse delen, grote oneffenheden verwijderen. Op zwak of niet zuigende ondergronden bijv. beton is een voorbehandeling met Knauf Betokontakt noodzakelijk (volgens DIN 18550). Sterk of onregelmatig zuigende ondergronden met Knauf Grondeermiddel of Knauf Stucprimer voorbehandelen. Lichte bouwplaten van houtwol volgens DIN 1101 en lichte bouwplaten samengesteld uit enkele lagen volgens DIN 1104 zijn te behandelen en te wapenen volgens DIN 1102 (vrijsnijden na pleisteren). Aanbeveling: volledig oppervlak met glasvezelweefsel Knauf Gitex wapenen. Kunststofhardschuimplaten, polystyreen enz., met een hard en stabiel oppervlak, één gelijkmatige laag pleisteren, voorzien van het gepaste wapeningsgaas en aansluiting vrijsnijden.

Aanbeveling: het gehele oppervlak wapenen met Gitex wapeningsweefsel, waarbij de wapening in het bovenste derde deel van de pleisterlaag dient te komen. Het aanbrengen van 2 pluggen per m², na het plaatsen van de wapening, is aangeraden.

Verwerking

Knauf Goldband-gebruiksklare mortel in een afgestapte hoeveelheid schoon water strooien (ca. 0,7 liter water per kg materiaal) en met de mixer zonder verdere toevoegingen mengen tot een klontvrije massa.

Als bij uitzondering een tweede pleisterlaag nodig is, moet de eerste laag in nog zachte toestand met een stuckam horizontaal worden opgekamd, zodat zwaluwstaartvormige rillen ontstaan en mag de tweede laag pas worden aangebracht als de eerste laag volledig hard is.

Gemiddelde laagdikte 10 mm.

Verwerkingstijd: vanaf het instrooien ongeveer 1 tot 1½ uur, al naar gelang de ondergrond en temperatuur. Niet schone kuipen en gereedschappen verkorten de verwerkingstijd.

Op een metalen pleisterdrager (Stucanet) in twee lagen werken. De eerste laag is om de pleisterdrager te stabiliseren en moet met de stuckam worden opgeruwd, daarna de tweede laag aanbrengen. Totale laagdikte: plafond 15mm, wand 20 mm. Aansluitingen vrijsnijden. Knauf Goldband niet verwerken als de ondergrond bevroren is of de omgevingstemperatuur minder dan +5°C bedraagt.

Voorbehandeling voor verflagen, behang en tegels

De pleisterlaag moet droog (restvochtgehalte maximaal 1 %), stofvrij en stabiel zijn. Een grondering aanbrengen die afgestemd is op de verflaag, de behanglijm of de tegellijm, vb. Knauf Diepgrond. In het geval van een afwerking met tegels dient de pleisterlaag minimaal 10 mm dik te zijn. Bij toepassingen in van gipspleisters als tegelondergrond in zones die aan spatwater onderhevig kunnen zijn, dient het pleisteroppervlak voorafgaandelijk behandeld te worden met Knauf Afdicht-Emulsie.

Tegels lijmen in het dunbedprocédé met cementgebonden lijm, bijv. Knauf Bouw- en Tegellijm.

Voegen na droging van de lijm.

Gereedschap

Kunststof kuip, spaan, troffel, rei, spaarbord en schuurblok.

Materiaalbenodigheden

25 kg Goldband geeft ca. 30 liter verse mortel, bij een gemiddelde laagdikte van 10 mm levert dat ca. 3 m² pleisteroppervlak op.

Het rendement is afhankelijk van de aard van de ondergrond.

Opslag

Droog, zo mogelijk op houten pallets, beschermen tegen vochtigheid. De optimale producteigenschappen blijven minimaal 4 maanden gegarandeerd na productie.

Bijzonderheden

Pleistervlakken, die van tegels worden voorzien, moeten slechts worden vlak gezet, zodat het plakken van de tegels in het dunbedprocédé mogelijk is. Niet glad polieren maar met de zijkant van de spaan ruw halen. Voor de rest is het aan te bevelen, de tegelondergrond te testen volgens VOB deel c, DIN 18352 hoofdstuk 3.2 en dienovereenkomstig te handelen.

De lokalen afdoende ventileren.

Na de uitvoering van de pleisterwerken dient elke vorming van vocht (door condensatie of andere vormen) vermeden te worden door middel van een voldoende ventilatie of mechanische droging van de lokalen. Aanhoudende aanwezigheid van vocht op het pleisteroppervlak of vorsttemperaturen kunnen de toplaag beschadigen (ruwe huid, loskomen van pleisterdeeltjes bij het verven, enz.). Na de uitvoering van de pleisterwerken mag het pleister niet aan temperaturen kleiner als +5°C blootgesteld worden. In de winterperiode de lokalen verwarmen en ventileren om de droging van het pleister te bevorderen.

Het is aan te raden om een test uit te voeren voor de aanvang van de verwerken en, indien nodig, een gepaste primer in functie van het type afwerklaag te voorzien.

☎ 04-273 83 11

► www.knauf.be

✉ info@knauf.be

P131_NL_B_04.11.01061

Knauf, rue du parc industriel 1, 4480 Engis, Tel.: +32 (0)4-273 83 11, Fax: +32 (0)4-273 83 30

Onder voorbehoud van technische wijzigingen. Het onderhavige technische blad annuleert alle voorgaande. Onze garantie heeft uitsluitend betrekking op de onberispelijke kwaliteit van ons materiaal. De gegevens betreffende verbruik, hoeveelheid en uitvoering zijn referentiewaarden die in geval van sterk afwijkende omstandigheden niet zondermeer kunnen worden overgenomen. Alle rechten voorbehouden. Veranderingen, nadruk en overname van fotomateriaal, ook wanneer het enkel om uittreksels ervan gaat, vereisen de uitdrukkelijke toestemming van de maatschappij Knauf.

Bijlage 6: Technische fiche snelpleister

Voordelen + Ideaal bij koud en vochtig weer. Zeer mooie afwerking van de voegen.	Verwerkingsadvies i Om 'pluisvorming' te voorkomen het karton van de gipsplaten pas gladschuren na het aanbrengen van de grondverf.	
SAMENSTELLING EN VOORKOMEN Poederplamuur op basis van gips, calciumcarbonaat, hars en diverse additieven. De verkregen pasta is wit van kleur.		
SOORTEN ONDERGROND Alle soorten gipsplaten, al dan niet voorzien van isolatie (glaswol, steenwol, polystyreen), met afgeschuinde kanten en gekartonneerde zijden.		
BEKLEDING Grondverf voor gipsplaten. Gladstrijkplamuur op basis van gips.		
TE RAADPLEGEN DOCUMENTEN DTU 25.41 en DTU 25.42. NF EN 13963. Technisch advies CSTB (Frans wetenschappelijk en technisch bouwcentrum) NR. 9/02-732.		
VERPAKKING CE 78 1 uur: zakken van 5 en 25 kg op een pallet met hoes.		
TECHNISCHE KENMERKEN Uithardingstijd: 1 uur. Aanhechting van de band: > 1000 g. Barstvorming: geen barsten tot een dikte van 5 mm. Densiteit: 0,9. Brandgedrag: A1. Deze kenmerken zijn bevestigd door het Technisch Advies.		
BEWARING 9 maanden in de originele verpakking, niet geopend en niet blootgesteld aan vocht.		
VOORZORG SMAATREGELN Het aanbrengen en drogen moet gebeuren bij een temperatuur tussen 8 en 35°C. Geen pasta gebruiken die al hard aan het worden is. Het product aanbrengen op een bevochtigde ondergrond.		
MENGVERHOUDING 2,5 à 3 liter water per zak van 5 kg.		
VERBRUIK Ongeveer 0,8 kg/m ² /mm dikte.		
VOORZORG SMAATREGELN De ondergrond moet conform DTU 59.1 zijn, d.w.z. proper, droog, stofvrij en ontdaan van alle resten ontkistingsolie.		

Bijlage 7: Effect of the application of the plaster layer



Effect of the application of the plaster layer preconized by the standard EN 29052-1 for dynamic stiffness measurements

Charlotte CRISPIN¹; Christian MERTENS²; Debby WUYTS³

^{1,2,3} Belgian Building Research Institute, Belgium

ABSTRACT

In 2016, a round robin measurement campaign of the apparent dynamic stiffness pointed out large variation coefficients. The poor accuracy in the measurement results were attributed to the lack of relevant and adequate prescriptions for the sample preparation and for the measurement conditions in the standard EN 29052-1. This paper aims to demonstrate the uncertain effect of the plaster layer preconized by this standard as shown by the round robin measurements and to clarify his application.

Keywords: Dynamic stiffness, ISO 9052-1, Precision measurement

I-INCE Classification of Subjects Number(s): 72.9

1. INTRODUCTION

The apparent dynamic stiffness is an important physical property of the resilient materials used under the floating floor which allows estimating the improvement of the impact sound pressure level, ΔL . This property is measured according the standard EN 29052-1 [1]. However, the results of a recent interlaboratory experiment [2] has shown very high coefficients of variation. These poor precision values were allocated to the lack of relevant and adequate guidance in the standard for the sample preparation and the measurement conditions. The interlaboratory results showed, in particular, an influence of the plaster application. Three possible causes were identified:

- ✓ A too short drying period: the damp plaster adds a significant softness ;
- ✓ An increasing of the surface of contact;
- ✓ A filling of the product interstices preventing the air to escape.

These assumptions were analysed by an additional measurement campaign. This paper reports the measurement results and the conclusions.

2. METHODOLOGY

The standard EN 29052-1 was followed to measure the evolution of the dynamic stiffness with the time. The measurement procedure determines the dynamic stiffness by measuring the resonance frequency, f_0 , of the mass-spring system where the mass is a steel plate of 200 kg/m² and the spring is the resilient material under test (figure 1).

The standardised result obtained, for a sample of 200 x 200 mm, is named the “apparent dynamic stiffness”, s'_t , and is given by:

$$s'_t = (2\pi f_0)^2 \cdot m' \quad [\text{N/m}^3] \quad (1)$$

where f_0 is the resonance frequency of the system [Hz];

m' is the surface mass of the steel plate [kg/m²]

According to this standard, the test sample must be covered with a waterproof plastic foil (± 0.02 mm thick) on which a thin paste of plaster of Paris and water is applied to a depth of at least 5 mm so

¹ charlotte.crispin@bbri.be

² christian.mertens@bbri.be

³ debby.wuyts@bbri.be

that any unevenness is covered. Before the plaster begins to set, the load plate must be bedded onto it.

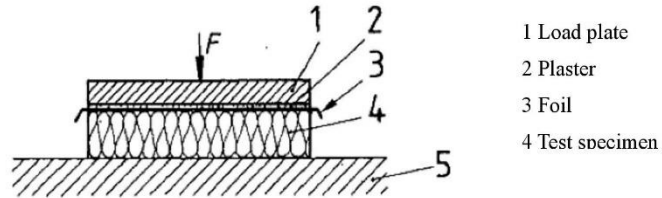


Figure 1 – Sample preparation according to the standard EN 29052-1

For practical reasons, the joint between the closed cell material sample and the base wasn't be sealed with a fillet of petroleum jelly.

The 4 materials of the interlaboratory experiment [2] were reused for this measurement campaign: 2 open cell materials and 2 closed cell materials. The first open cell material (Figure 2) was a mineral wool from Rockwool with a high density ($\pm 108 \text{ kg/m}^3$). The samples' thickness was 20 mm. Its surface was uneven but the surface irregularities were less than 3mm and the surface could be considered as smooth according to the standard EN 29052-1.



Figure 2 – Sample of mineral wool (Wool)

The second open cell material (Figure 3) was a polyurethane foam D80 from Agglorex ($\pm 82 \text{ kg/m}^3$, Thickness: 15 mm). Its surface was flat.



Figure 3 – Sample of Polyurethane foam (PUR)

The first closed cell material (Figure 4) was a thermo-acoustic underlayer composed of a cross-

linked polyolefin foam ($\pm 30 \text{ kg/m}^3$, thickness: 15 mm). Its surface was flat.

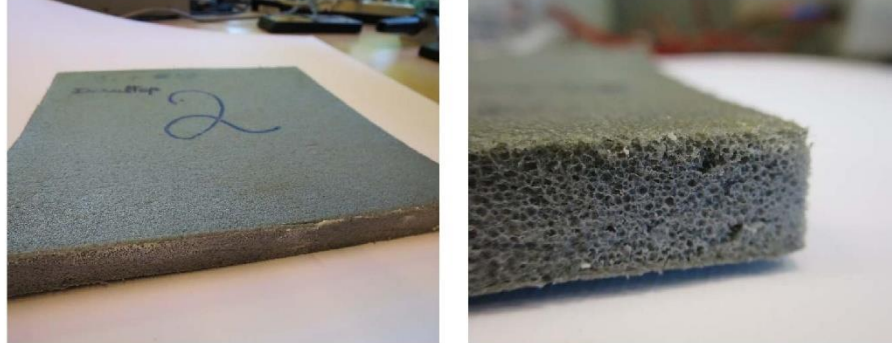


Figure 4 – Sample of Polyolefin foam (Poly)

The second closed cell material (Figure 5) was a rubber “VibraHard” ($\pm 543 \text{ kg/m}^3$, thickness: 5mm). Its surface presented many small spaces (interstices) between the rubber grains.



Figure 5 – Sample of Rubber (Rub)

For each material, three samples were used. The evolution of the dynamic stiffness with the time was measured on the first sample without plaster in order to evaluate the creep of the material and the other two samples were tested with plaster ($\pm 3 \text{ mm}$) according to the procedure followed at table 2.

Three different types of plaster were tested: A Paris plaster from Semin (setting time: 45min), a Goldband-P131 plaster from Knauf (setting time: 4h) and a fast plaster CE78 from Semin (setting time: 60min).

The water quantity used for the mixture as recommended by the producer is summarized in table 1.

Table 1: Water quantity used

Quantity	Paris plaster	Goldband plaster	Fast plaster
Plaster [g]	600	600	600
Water [g]	300	400	300

The apparent dynamic stiffnesses, $s'_{t,plaster}$, of the plasters alone were also measured.

Table 2: Evaluation procedure of the dynamic stiffness as a function of time

	Material		
Time [min]	Sample 1	Sample 2	Sample 3
0	Pre-testing without plaster		
2	Without plaster	With plaster	With plaster
4			
10			
17			
31			
57			
102			
184			
331			
595			
1071			
1928			
2400	Final test without plaster		

3. Measurement results

3.1 Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of the plaster, $s'_{t,plaster}$

Figure 6 presents the $s'_{t,plaster}$ for the three plaster types studied. As expected, this $s'_{t,plaster}$ increases with the time due to the drying of the plaster. The resonance peak disappears quickly (depending on the time setting) and makes the stiffness difficult to measure. Having regards to the fact the drying time of the “Goldband” plaster is slower, its curve shows a low growth contrary to the “Paris” plaster which shows a rapid growth. The “Fast” curve is between the two.

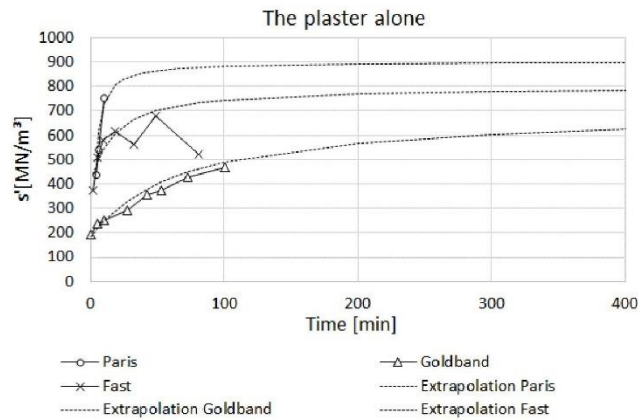


Figure 6- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of the plaster, $s'_{t,plaster}$

Figure 7 compares the evolution of $s'_{t,plaster}$ with the time for two different thicknesses of the same plaster. As expected, the thicker plaster layer gives a lower stiffness and the slope of its evolution curve is also smaller. This can be explained by a longer drying time. In average, the $s'_{t,plaster}$ of the 2 times thicker layer increases half as fast as the other layer.

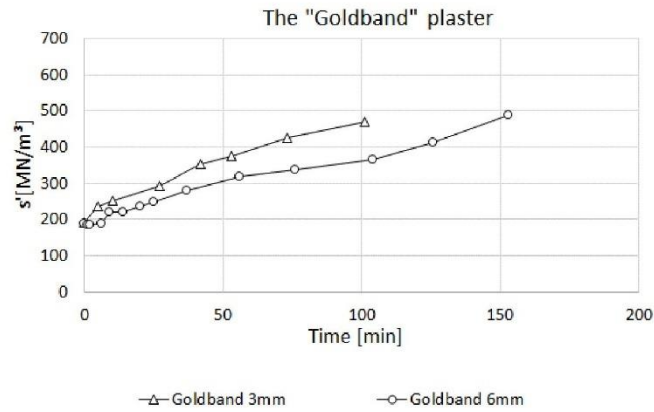


Figure 7- Evolution of $s'_{t,plaster}$ with the time for two different thicknesses of the “Goldband” plaster

3.2 Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of the product, $s'_{t,product}$

In order to highlight the creep of the product itself, the evolution in time of the apparent dynamic stiffness, $s'_{t,product}$, was measured without plaster for the sample 1 of each product. Three curves were measured for each sample. The average of these curves give the creep profile for the product which will be assumed applicable to samples 2 and 3.

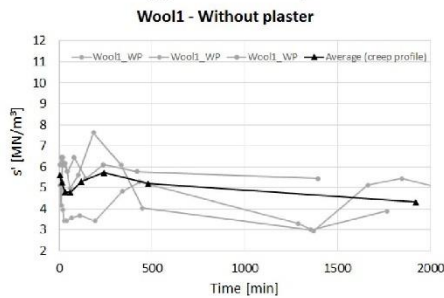


Figure 8- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of “Wool”

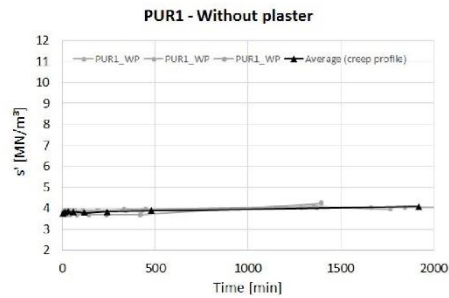


Figure 9- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of “PUR”

For the “Wool” samples, the statistical analysis of the three curves gives an estimation of the measurement accuracy which is on average, for this product, of 24% (figure 8). The creep curve shows an unexpected slight decrease of the $s'_{t,product}$ with the time but this decrease is lower than the measurement accuracy and is therefore not relevant. The evolution of this product in time can be then assumed constant.

The $s'_{t,product}$ of “PUR” product increases of 8% over a period of 32h (figure 9). The measurement accuracy for this product is excellent (3%).

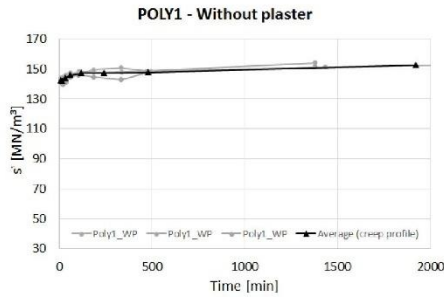


Figure 10- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of "Poly"

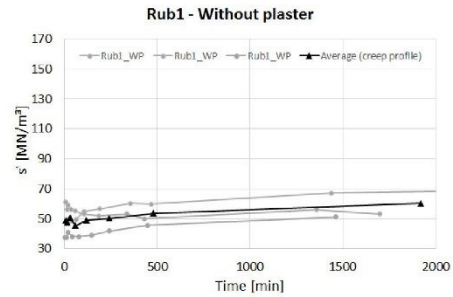


Figure 11- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of "Rub"

The $s'_{t,product}$ of the "Poly" product increases of 8% over a period of 32h (figure 10) while the "Rub" product shows an increase of 23% (Figure 11). The accuracy of results is 2% for "Poly" and 17% for "Rub". Obviously, this accuracy depends more on the product type than the measurement procedure.

3.3 Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of the combination

plaster/product, $s'_{t,comb}$

The graphs below present the measurements of the three dynamic stiffness evolutions in time of the combination product/plaster (Paris, Goldband, Fast). These measurements were preceded by a measurement on the product alone. The point "sample_Start" on the graphs thus represents the average of the three $s'_{t,start}$ of the product without plaster at the time zero.

The "creep_profile" evolution shows what it would have been if the plaster had not been applied. This creep profile was determined at the paragraph 4.2. It was shifted in order that its initial value corresponds to the $s'_{t,start}$ of the sample. The assumption here is that the creep is the same for all samples within a product.

The point "sample_End" in the graphs represents the end value where the plaster is considered as completely dry. This value gives then the dynamic stiffness of the product after a load of 2400 min, $s'_{t,end}$, and should correspond to the end value of the assumed creep profile.

3.3.1 Mineral wool

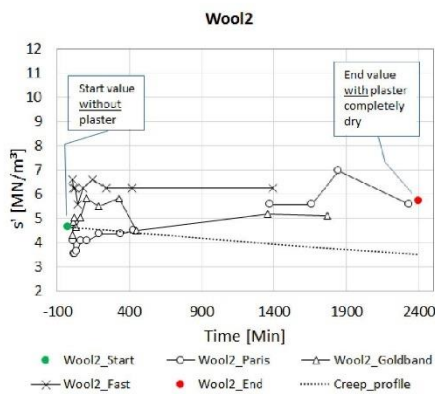


Figure 12- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of the combination plaster/Wool2

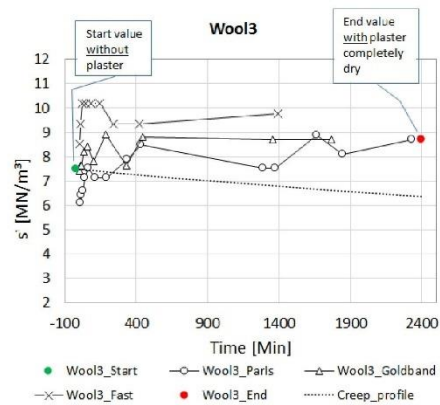


Figure 13- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of the combination plaster/Wool3

For the two samples (Wool2 and Wool3), the relative differences between the different plasters are in the same order of magnitude than the measurement accuracy (Figures 12 and 13).

Without plaster, the evolution of the product should have been constant (or slightly decreasing according to the creep profile) with a value of 4.6 MN/m³ for “Wool2” and 7.5 MN/m³ for “Wool3”. However with plaster and after 400 min, all curves are higher. On average, the increase is of 22% for “Wool2” and 16% for “Wool3”. This can be explained by the increase of the surface area of contact by applying plaster on the uneven surface. The first 100 min show more inaccuracy in the measurement results.

The application of the plaster layer on the uneven surface of the mineral wool sample increased the s' , of $\pm 20\%$. This means that the variation of the surface of contact (even minor) plays an important role in the measurement accuracy.

Since the definition of an uneven surface is confused in the standard and since it is not clear if the plaster layer must also be used on smooth surface, to avoid any ambiguity, the application of this layer should be imposed for all types of product and for all surface conditions;

The thickness of the plastic foil used should be imposed: 0.01 mm as a cling film (instead of ± 0.02 mm in the standard). Indeed, a thin plastic foil closely matches the shape of the uneven surface contrary to a thick foil.

3.3.2 Polyurethan foam

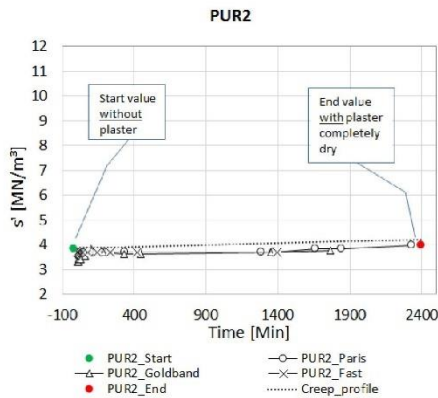


Figure 14- Evolution in time of the apparent

dynamic stiffness of the combination plaster/PUR2

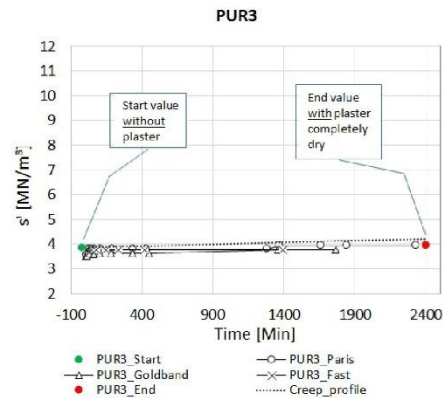


Figure 15- Evolution in time of the apparent

dynamic stiffness of the combination plaster/PUR3

The dynamic stiffness values of the combination product/plaster are 30% lower than the $s'_{t,start}$ during the first 30 min (Figures 14 and 15). This difference is relevant because the measurement accuracy is only 3% for this product. After that, the evolution of the combination follows the creep profile. There are no differences between the three plaster types. The surface of the product is very smooth there is therefore no modification of the surface of contact with and without plaster.

After 30 min, the plaster layer sufficiently hardened doesn't impair the measurement accuracy for soft open cell material with a smooth surface.

3.3.3 Polyolefine foam

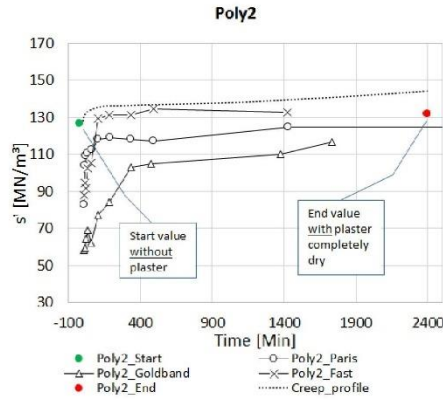


Figure 16- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of the combination plaster/Poly2

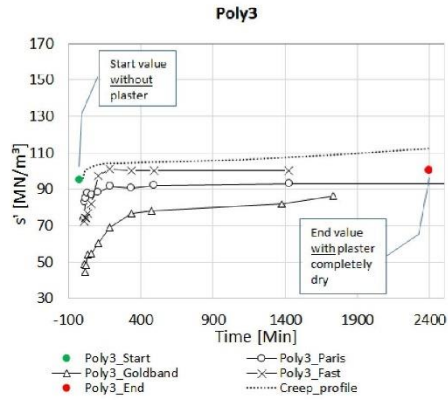


Figure 17- Evolution in time of the apparent dynamic stiffness of the combination plaster/Poly3

For this case (Figures 16 and 17), the dynamic stiffness of the product is high. The dynamic stiffness of the combination is strongly influenced by the dynamic stiffness of the plaster layer while still damp. Indeed, the evolution of the $s'_{t,comb}$ with the drying of the plaster is clearly visible on the three curves and particularly on the first 400 min.

Theoretically,

$$\frac{1}{s'_{t,plaster}} + \frac{1}{s'_{t,product}} = \frac{1}{s'_{t,combination}} \quad (2)$$

This means that the dynamic stiffness of the plaster, $s'_{t,plaster}$ should be at least 9 times (in theory) higher than the dynamic stiffness of the product to introduce an inaccuracy lower than 10%.

The slope showing the evolution of the $s'_{t,comb}$ with the drying of the “Paris” and “Fast” plasters is very steep on the first 180 min. At this moment, the ratio between $s'_{t,plaster}$ and the product $s'_{t,product}$ exceeds 7.

As expected the slope for the “Goldband product” is lower: the approximate length of the waiting time to reach a relative constant value is 470 min. But it is only after 1740 min (29h) that an inaccuracy lower than 10% is reached.

Even though the plaster is dry, it seems that the plaster type has also a significant influence on the results. Table 3 gives the evolution of the percentage error between the measured value, $s'_{t,comb}$, and the “Poly_end” value over time for the three plaster types.

Table 3: Evolution of the percentage error over time for the three plaster types.

	Paris	Goldband	Fast
Time [min]	Percentage error [%]	Percentage error [%]	Percentage error [%]
7	32	53	31
13	19	55	27
20	16	52	28
34	14	47	23
60	14	49	19
105	11	41	2
187	9	34	1
334	10	23	0
472	10	21	1

This means that, for this product, after 60 min of drying time, an error of 14% may be considered on the results with the “Paris” plaster layer of 3 mm, 49% with the “Goldband” plaster layer and 19% with the “Fast” plaster layer.

The dynamic stiffness of the plaster, $s'_{t,plaster}$ should be at least 9 times higher than the dynamic stiffness of the product to introduce an inaccuracy lower than 10%. For a plaster thickness of 3 mm, the “Fast” and “Paris” plasters can reached this condition after 180 min for the polyolefine foam. A doubling of the thickness of the plaster leads to a doubling of the waiting time.

3.3.4 Rubber

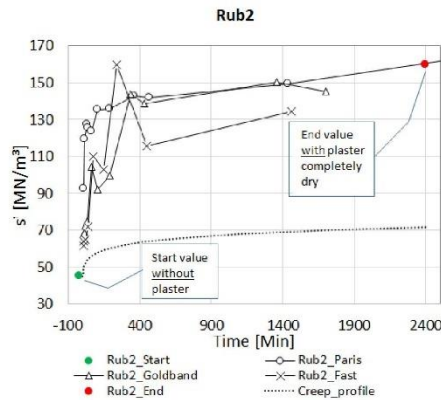


Figure 18- Evolution in time of the apparent

dynamic stiffness of the combination plaster/Rub2

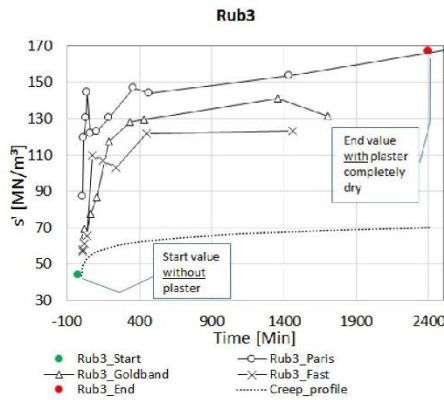


Figure 19- Evolution in time of the apparent

dynamic stiffness of the combination plaster/Rub3

In this case, two plaster effects are plainly observable (Figures 18 and 19).

- ✓ A high increase of the apparent dynamic stiffness due to the trapped air in the interstices. Indeed, the particular macroscopic structure composed of rubber granules contains many interstices (See figure 5) but presents an infinite airflow resistivity in the transverse direction. Without plaster, the irregularities of the surface allow air to escape but with the plaster, the interstices are blocked, air cannot escape and contributes to the rise of the apparent dynamic stiffness. On average, the increase is of 64 MN/m³.
- ✓ The quality (or the rate) of the filling of these interstices determines the accuracy of the results;
- ✓ Contribution of the humidity content in the plaster on the apparent dynamic stiffness during the first 60 min.

The application of a thin paste of plaster leads to an increase of the apparent dynamic stiffness due to the air sequestration in particular structures containing interstices and presenting a high airflow resistivity in the transverse direction.

4. Conclusion

This study has highlighted the influence of the plaster layer on the measurement accuracy of the resonance frequency in the apparent dynamic stiffness test according the standard EN 29052-1. In particular, this study has shown:

- ✓ The effect of the increase of the surface of contact caused by the plaster layer: The apparent dynamic stiffness of the mineral wool, having surface irregularities less than 3mm,

- increases by 20% with the application of the plaster layer.
- ✓ The negligible effect of the plaster layer on the measurement accuracy for soft open cell material with a smooth surface;
- ✓ An influence of the humidity rate of the plaster on the apparent dynamic stiffness for rather stiff material (higher than 30 MN/m³): For example, if a “Paris” plaster layer of 3 mm is applied, a drying period of 180 min must be observed in order to reach a percentage error lower than 10% on the value “without plaster” for the polyolefine foam (127MN/m³). A doubling of the thickness of the plaster leads to a doubling of the waiting time. In general, the dynamic stiffness of the plaster, $S'_{t,plaster}$ should be at least 9 times higher than the dynamic stiffness of the product to introduce an inaccuracy lower than 10%;
- ✓ An increase of the apparent dynamic stiffness due to the trapped air can be observed in particular structures containing interstices and presenting a high airflow resistivity in the transverse direction. The quality (or the rate) of the filling of these interstices determines the accuracy of the results.

Some practical recommendations can be then proposed to improve the reproducibility of the measurement procedure. The idea here is to find a reproducible measurement method rather than a measurement method closer to the real operating conditions as this standard is mainly intended to be used for comparing production samples of similar materials.

Recommendations:

- ✓ Since the definition of an uneven surface is confused in the standard and since it is not clear if the plaster layer must also be used on smooth surface, to avoid any ambiguity, the application of this layer should be imposed for all types of product and for all surface conditions. Under this recommendation, the results should be close to the real conditions or slightly overestimated since, in practice, a thicker plastic foil is used and a mortar with much bigger grains;
- ✓ The thickness of the plastic foil used should be imposed: 0.01 mm as a cling film (instead of ± 0.02 mm in the standard). Indeed, a thin plastic foil closely matches the shape of the uneven surface contrary to a thick foil;
- ✓ A waiting period of 24 hours should be imposed before the measurement. This waiting period would take into account the drying of the “Paris” plaster and the creep of the product.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful for the financial support from the Federal Public Service Economy of Belgium. They would also like to thank Ann-Sofie Corthouts and Brent Hermans, students from Hasselt, who have carried out the measurements and the analysis within the context of their thesis.

REFERENCES

1. EN 29052-1:1992, Acoustics - Determination of dynamic stiffness - Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.
2. Crispin C., Mertens C., Ingelaere B., Estimation of the precision of the apparent dynamic stiffness measurement described in the standard EN 29052-1, Proc. INTER-NOISE 2016, Hamburg, Germany.
3. Crispin C., Mertens C., Evolution of the dynamic stiffness of typical materials used under floating floor during their lifetime, Proc. INTER-NOISE 2013, Innsbruck, Austria.
4. Crispin C., Mertens C., Medved J., Measurement of the dynamic stiffness of porous materials taking into account their airflow resistivity, Journal of Building Acoustics, Vol 21., n°3, 2014.
5. Schiavi A., Pavoni Belli A., Corallo M. Russo F. Acoustical performance characterization of resilient materials used under floating floors in dwellings, Acta Acustica united with Acustica Vol 93, n° 3 pp 477-485, May/June 2007.
6. Dikavicius V. Miskinis K., Change of dynamic stiffness of open and closed cell resilient materials after compressibility test. Materials Science, Vol. 15, n°4, 2009.
7. Schiavi, A., Guglielmone C., Miglietta P., Alasia F. Influence of static-load on airflow resistivity determination, Proceedings Acoustics 2008, Paris.
8. Schiavi, A., Guglielmone C., Miglietta P., Effect and Importance of static-load on airflow resistivity determination and its consequences on dynamic stiffness, Applied Acoustics 72 (2011) 705-710.

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Het effect van de toepassing van een pleisterlaag voorgeschreven door de norm EN 29052-1 voor dynamische stijfheidsmetingen

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

Jaar: **2017**

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,

Corthouts, Ann-Sofie

Hermans, Brent

Datum: **4/06/2017**