

VRIJ TECHNISCH INSTITUUT
St. ALOYSIUS
PAPEBRUGSTRAAT8A
8820 TORHOUT



Industriële wetenschappen Nulwoning

Mentoren:

D. Vansteendlandt

K. Werbrouck

D. Goethals

T. Vandenbulcke

G. De Jaeger

K. Geeraert

Leerlingen

Ibe Claeys

Sooi Oosthuysse

Brent Strubbe

Brecht Vanbiervliet

Gilles Van de Weghe

Owen Van Roy

DOSSIER GEINTEGREERDE PROEF 2020-2021

e-mail: vti@sint-rembert.be | website: <https://www.sint-rembert.be/vti>

Inhoud

1. Voorwoord.....	10
2. Inleiding.....	11
3. Voorstudie.....	12
3.1. Wetgeving bij nieuwbouw.....	12
3.1.1. Aanstellen van een verslaggever.....	12
3.1.2. Indienen van een startverklaring.....	12
3.1.3. Opvolging materiaal- en installatiekeuzes.....	13
3.1.4. Indienen EPB-aangifte.....	13
3.1.5. Energieprestatiecertificaat (EPC) bouw.....	13
3.1.6. Boetes.....	13
3.1.7. EPB-eisen 2021.....	13
3.2. EPB-eisen.....	15
3.2.1. Inleiding.....	15
3.2.2. Thermische isolatie.....	15
K-peil (het isolatiepeil van een woning of ander gebouw).....	15
Gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt U_m	16
Referentiewaarde $U_{m,ref}$	16
S-peil.....	17
R-waarde.....	17
3.2.3. Energieprestatie.....	18
E-peil.....	18
3.2.4. Binnenklimaat en ventilatie.....	18
3.3. Koeling.....	19
Het doel van ons project is het koppelen van de leerstof i.v.m. faseovergangen met de werking van een koelinstallatie. Aan de hand van dit project willen we leerlingen van het 5 ^{de} jaar helpen bij het begrijpen van deze leerstof.....	19
In het 5 ^{de} jaar leren de leerlingen over alle faseovergangen, maar bij deze opstelling staat de overgang van vloeistof en gas centraal. Condenseren en verdampen spelen dus een grote rol bij de werking van een koelinstallatie.....	19
3.3.1. Koeling doorheen de tijd.....	19
3.3.2. Koeling tegenwoordig.....	20
Koeling door radiatoren.....	20
Je kunt je huis koelen a.d.h.v. radiatoren. Hierbij laat je koud water door je radiator pompen. Er bestaan twee soorten: met of zonder condensafvoersysteem.....	20
Radiatoren zonder condensafvoersysteem kunnen slechts voor enkele graden verkoeling zorgen, die met condensafvoer kunnen sterker koelen (vergelijkbaar met airconditioner).....	20

Niet-condenserende koeling	20
Condenserende koeling.....	20
Peltier element.....	20
Koeling met vloerverwarming	20
Airconditioning	21
Koeling van een motor	21
3.3.3. Koeling in de toekomst.....	22
Koelmiddel.....	23
4. Mechanische studie.....	24
4.1. Bouw zonneboiler.....	24
4.1.1. Conventionele zonneboiler	24
4.1.2. Compacte zonneboiler	26
4.1.3. Zonneboiler met terugloopsysteem.....	26
4.1.4. Cv-zonneboiler op je bestaande cv-ketel	27
4.1.5. Combizonneboiler: naverwarming binnen de zonneboiler.....	27
4.2. Zonnecollector.....	27
4.3. Warmtebox.....	29
4.3.1. Inleiding	29
4.3.2. Infraroodlampen	29
4.3.3. schakeling	30
1.	30
4.3.4. Plafondfitting.....	30
4.3.5. Constructie warmtebox.....	30
4.4. Compressorstudie (reverse engenering)	31
4.4.1. Soorten compressoren	31
Mechanische compressoren	31
Stromingscompressoren.....	32
4.4.2. Gebruik	32
4.4.3. Fysica van de compressor.....	33
4.4.4. Demonteren van een compressor	34
4.5. Aerodynamica.....	36
4.5.1. Schijnbare of ware wind	36
Toepassing 1	37
Toepassing 2	37
Besluit:.....	37
4.5.2. Wet van Betz	38

4.5.3.	Toepassing wet van Betz	40
4.5.4.	Liftkracht.....	40
4.5.5.	Overtrek.....	40
4.6.	Massatraagheidsmoment.....	41
4.6.1.	Wieken.....	41
4.6.2.	Formules	41
4.6.3.	Meting en berekening wieken.....	42
5.	Wetenschappelijke studie	50
5.1.	Warmte.....	50
5.2.	Soorten warmtetransmissie	50
5.2.1.	conductie of geleiding	50
5.2.2.	convectie of stroming.....	51
5.3.	Opwarming van het huis	52
5.3.1.	Inleiding	52
5.3.2.	Proef: debiet.....	52
	Proefopstelling	52
	Gemeten waardes	52
	Waarneming	53
	Besluit	53
5.3.3.	Proef: spanning voor optimale opwarming van huis/vat.....	53
	Inleiding	53
5.3.4.	Proef: warmteoverdracht van zonneboilervat naar huis	53
	Proefopstelling	53
	Gemeten waardes	54
	Waarneming	54
	Besluit	54
5.3.5.	Proef: warmteoverdracht van zonnecollector naar zonneboiler	54
	Proefopstelling	54
	Gemeten waardes	55
	Waarneming	55
	Besluit	55
5.4.	Koeling.....	55
5.4.1.	Onderdelen en begrippen koelinstallatie.....	55
5.4.2.	Fysische begrippen bij een koelsysteem	57
5.4.3.	Koelproces	58
5.4.4.	Berekenen koelvermogen	60

5.4.5.	Metingen toestandsgrootheden met volledige ventilatie	60
1.	61
5.5.	Koelmiddel (cfk's)	61
5.5.1.	Schadelijk voor de ozonlaag	61
5.5.2.	Toepassingen van cfk's	61
5.5.3.	Nummering van cfk's	62
6.	Elektrische studie	62
6.1.	Magnetisme	62
6.1.1.	Wat is magnetisme	62
6.1.2.	De polen van een magneet	62
6.3.	Magnetisch veld	62
6.3.1.	Definitie magnetisch veld	62
6.3.2.	Veldsterkte en veldlijnen	63
6.3.3.	Magnetische flux ϕ en inductie B	63
6.3.4.	Magnetische keten	63
6.4.	Toepassing van magneten bij windmolen	64
6.5.	Diodebrug	64
6.5.1.	N- en P-kristallen	64
6.5.2.	N-kristallen	64
6.5.3.	P-kristallen	65
6.5.4.	PN-junctie	65
6.5.5.	Kathode, anode	65
6.5.6.	Diodebrug	66
6.5.7.	Besluit	67
6.6.	Driefasespanning	68
6.6.1.	Driehoek- of sterschakeling	69
	Sterschakeling	69
	driehoekschakeling	70
6.6.2.	Toepassing windmolen	70
6.6.3.	Schakeling	70
6.6.4.	Kabelverliezen	71
6.6.5.	Test windmolen	72
	Sterschakeling 1	72
	Sterschakeling 2	73
	Driehoekschakeling 1	74
	Driehoekschakeling 2	74

Serieschakeling	75
Algemeen besluit.....	75
6.7. Reflectie project windmolen	76
6.7.1. Spoelen	76
6.7.2. Wieken.....	76
6.7.3. Generator	76
6.7.4. Schakeling.....	76
6.8. Verlichting	77
6.8.1. Lampen	77
6.8.2. Gloeilamp	77
6.8.3. Halogeenlamp.....	77
6.8.4. Spaarlamp.....	77
6.8.5. TL	78
6.8.6. LED.....	78
1.	78
6.8.7. Waarom is LED de meest efficiënte verlichting?.....	78
Volgens het lichtspectrum.....	78
Volgens de opbouw	79
Kleuren pallet	79
Stralingshoek	80
6.9. Schakeling.....	80
6.9.1. Schakeling huizen	80
6.9.2. Het relais.....	81
opbouw.....	81
Soorten relais.....	81
Gebruik voor onze gip	81
6.9.3. De ventilatoren.....	82
Gebruik	82
Soorten ventilatoren	82
6.9.4. De temperatuursensor	82
Soorten temperatuursensor.....	82
Gebruik voor onze GIP.....	83
6.9.5. De bipolaire transistor	83
Opbouw	83
Werking	83
Toepassing in de praktijk.....	84

Darlingtonschakeling.....	84
Toepassing in de praktijk.....	84
6.9.6. De MOSFET.....	85
Onderverdeling.....	85
Opbouw algemene MOSFET.....	85
P-type en N-type.....	86
Gebruik van het P-type voor onze GIP.....	86
6.9.7. schakeling koelsysteem.....	87
Schakeling.....	87
thermostaat.....	87
7. Elektronische studie.....	88
7.1. Programma's.....	88
7.1.1. Doel.....	88
Meting.....	88
Sturing.....	90
7.1.2. Uitleg programma.....	90
Sensoren.....	90
Debietmeters.....	93
Sturingen.....	93
7.1.3. Schema's.....	95
Blok-schema.....	95
Elektrisch schema.....	95
8. Biologische studie.....	96
8.1. Legionella.....	96
8.1.1. Ziekteverschijnselen.....	96
Legionella pneumonie (legionella longontsteking).....	96
Pontiackoorts.....	96
8.1.2. Fysieke eigenschappen.....	96
8.1.3. Taxonomie.....	97
9. Materiaalleer.....	98
9.1. Isoleren van onze nulwoning.....	98
9.1.1. Omschrijving.....	98
9.1.2. Soorten isolatie.....	98
9.1.3. Indeling volgens grondstoffen.....	98
Minerale isolatie.....	98
Kunststoisolatie.....	98

Ecologiesche isolatie.....	99
9.1.4. Indeling volgens uitvoering	100
Isolatiebekens.....	100
Isolatieplaten.....	100
Spuisulatie	100
Inblausisulatie.....	100
9.1.5. Indeling volgens doel.....	100
Thermische isolatie.....	100
Geluidsisulatie	101
Akoestische isolatie	101
9.1.6. Vergelijking lambdawaarde, Rd-waarde, Rc-waarde	102
lambdawaarde, Rd-waarde, Rc-waarde	102
Toepassing op onze constructie	103
9.1.7. XPS-isulatieplaten.....	104
Productinformatie:	104
Omschrijving.....	104
Kenmerken	105
9.2. Bouwpakket van ons huis.....	106
9.2.1. Omschrijving	106
9.2.2. MDF	106
9.2.3. Soorten MDF.....	106
Standaard MDF.....	106
MDF met een laag formaldehydegehalte.....	107
Vochtbestendige MDF	107
Brandvertragende MDF.....	107
High density fibreboard (HDF).....	107
9.2.4. Werken met MDF	107
9.2.5. Schilderen van MDF.....	109
9.3. Spoelen	110
9.3.1. Werking	110
9.3.2. Magnetische permeabiliteit	110
9.3.3. Enkele termen	111
9.3.4. Magneculen.....	111
9.3.5. Ferromagnetische kern	111
9.3.6. Remanente inductie	111
9.3.7. Magnetische weerstand	112

1. Voorwoord

Op het einde van het vijfde jaar kregen wij als opdracht om voor onze geïntegreerde proef in het zesde jaar een passiefhuis te realiseren. Bij onze eerste brainstorming hebben we beslist om in drie groepen te werken. Eén groep zou zich op de brouwinstallatie toeleggen terwijl de twee andere groepen zich op de bouw van een passiefhuis zouden concentreren.

In de loop van het zesde jaar hebben we dan beslist om ons project op te delen in vier verschillende componenten: de huizen, de verwarming, de windmolen en de koeling. We danken hierbij speciaal Jasper Timmerman, een oud leerling van de school, die ons enorm vooruitgeholpen heeft op het vlak van de koeling.

Dit project was ook niet mogelijk geweest zonder de gewaardeerde inbreng van onze leerkrachten, die meerdere malen hun lessen en vrijetijd hebben opgegeven om ons te begeleiden en verder te helpen. We wensen in het bijzonder een woord van dank te richten aan onze mentor en klastitularis dhr. Vansteenlandt. We zijn ook mevr. De Jaeger, dhr. Geeraert en dhr. Werbrouck dankbaar voor de extra uitleg i.v.m. elektriciteit, elektronica, technisch tekenen en programmeren. Ten slotte willen we ook nog mevr. Vandenbulcke bedanken voor de taalkundige begeleiding van onze documenten.

2. Inleiding

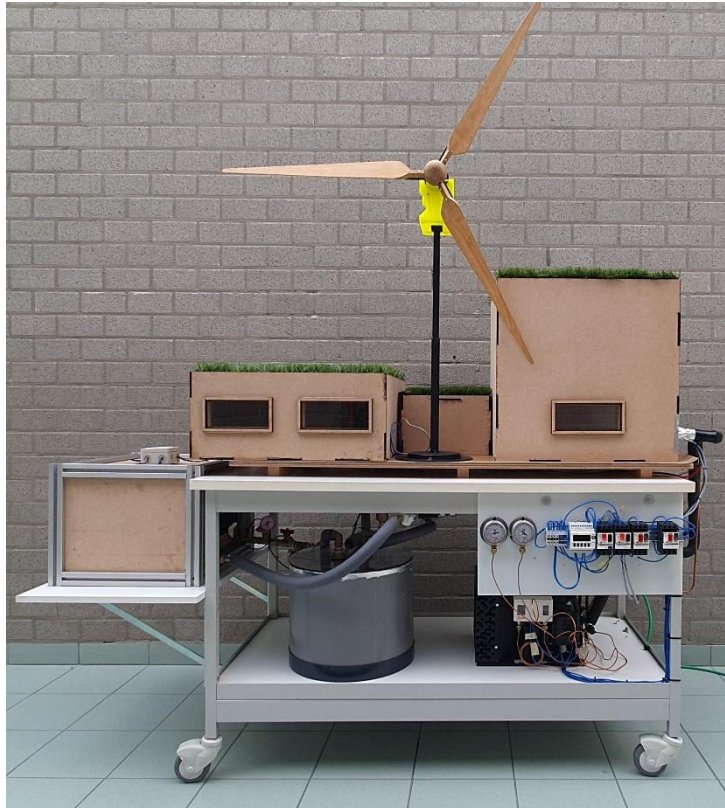
Op het einde van de middelbare school maken de leerlingen industriële wetenschappen een geïntegreerde proef. Deze zal met de basiskennis die in de voorbije jaren werd verworven en met extra opzoekingswerk gerealiseerd worden.

Wij bouwen dit jaar een passiefhuis. Zonnecollectoren, windmolens en aircosystemen zijn termen die ongetwijfeld niet onbekend in de oren zullen klinken. Het lijkt altijd zo gemakkelijk... Een klik op de schakelaar en het licht gaat aan, of we draaien aan de radiatorknop en we verwarmen onze ruimte. Maar achter al deze handelingen zit een heel systeem, en daar willen wij in dit document wat dieper op ingaan.

In dit project bouwen we een nulwoning die bestaat uit 2 miniatuurhuisjes: een huis waarin we werken met vloerverwarming en een tweede huis met een koelgroep. Daarnaast moet er verlichting in de huizen aanwezig zijn. De spanning voor de ledverlichting zullen we opwekken via windenergie, een windmolen dus.

Er zal kennis gemaakt worden met verwarming, koeling en windenergie. We gaan de bouw van een zonneboiler en zonnecollector bestuderen aan de hand van de nodige proeven, we bekijken ook de koelgroep en de testen die erbij horen. En ten slotte wordt er ook met windenergie aan onderzoek

gedaan. Op deze manier proberen we proefondervindelijk onze opgedane kennis in de praktijk om te zetten.



3. Voorstudie

3.1. Wetgeving bij nieuwbouw

De meeste gebouwen in Vlaanderen moeten een minimumniveau halen op het gebied van isolatie, energiezuinigheid of energieprestatie en ventilatie. Welke eisen er precies van toepassing zijn, hangt onder meer af van de bestemming van het gebouw, de aard van de werken en de datum van de bouwaanvraag of melding.

Wanneer je een nieuwbouw wilt, moet je onderstaande 5 stappen volgen:

3.1.1. Aanstellen van een verslaggever

Voor de start van de werken moet de bouwheer een EPB-verslaggever aanstellen. Dat kan de ontwerpende architect zijn, maar ook een andere architect of ingenieur. Die verslaggever zal tijdens het bouwproces opvolgen en rapporteren of er aan de energienormen wordt voldaan. Sinds 2016 moet je ook een ventilatieverslaggever aanduiden. Dit kan dezelfde persoon zijn of iemand anders.

3.1.2. Indienen van een startverklaring

Voor de start van de werken maakt de verslaggever een berekening om te controleren of er aan de energienormen zal worden voldaan in het bouwproject. Die berekening neemt hij op in de startverklaring. Een startverklaring is een deel van het EPB. Hieruit kan je al een idee krijgen of je

gebouw zal voldoen aan de EPB-eisen, zoniet kunnen er aanpassingen worden gedaan. De bouw kan niet starten zonder deze te hebben ingediend.

In een startverklaring worden onderstaande puntjes opgenomen:

- gegevens over het bouwproject
 - ligging
 - datum van de start van de werkzaamheden
 - aard van de werkzaamheden
 - bestemming van het gebouw
 - indeling van het bouwproject
 - resultaten op het vlak van de EPB-eisen
- gegevens over de aangifteplichtige (de bouwheer)
- gegevens over de architect
- gegevens over de verslaggever
- de berekening.

3.1.3. Opvolging materiaal- en installatiekeuzes

Tijdens de werken worden alle zaken die de thermische isolatie, de energieprestatie en het binnenklimaat van het gebouw beïnvloeden, nauwkeurig bijgehouden. In deze fase kan je zelf nog aanpassingen maken in materiaalkeuze of installatiekeuze.

3.1.4. Indienen EPB-aangifte

Na de bouwwerken stelt de verslaggever de EPB-aangifte op. Dat is een berekening op basis van vaststellingen, lastenboeken, facturen... De verslaggever dient de EPB-aangifte uiteindelijk definitief in bij het Vlaams Energieagentschap.

3.1.5. Energieprestatiecertificaat (EPC) bouw

Bij nieuwbouw bezorgt de verslaggever u uiteindelijk ook het 'energieprestatiecertificaat (EPC) bouw'. Dat EPC vermeldt of het gebouw al dan niet aan de energieprestatieregelgeving voldoet en vermeldt onder meer het E-peil.

3.1.6. Boetes

Als aangifteplichtige kunt u een boete krijgen als:

- de startverklaring niet (tijdig) wordt ingediend;
- de EPB-aangifte niet (tijdig) wordt ingediend;
- als er niet voldaan is aan één of meer EPB-eisen, zoals bijvoorbeeld het maximaal E-peil.

Hoe groter de overtreding, hoe groter de boete.

3.1.7. EPB-eisen 2021

Vanaf dit jaar moeten alle nieuwbouwwoningen voldoen aan de eisen voor een bijna-energieneutrale woning (BEN-woning).

EPB-eisen (eisen op het vlak van ENERGIEPRESTATIE en BINNENKLIMAAT)		
AARD VAN HET WERK	wonen	
nieuwbouw (of gelijkwaardig)	thermische isolatie	maximaal S31 (wooneenheid) en maximale U-waarden
	energieprestatie	maximaal E 30 (wooneenheid)
	binnenklimaat	minimale ventilatievoorzieningen en beperken van risico op oververhitting (wooneenheid)
	hernieuwbare energie	≥ 15 kWh/m ² .jaar
	installaties	-

Dit zijn de minimeisen voor je huis wanneer je een bouwaanvraag in 2021 indient. Voor de hernieuwbare energie kan je kiezen uit:

- zonneboiler;
- zonnepanelen;
- warmtepomp;
- warmtepompboiler;
- biomassaketel;
- aansluiting op een stadsverwarmings- of stadskoelingsnet;
- participatie in een hernieuwbaar energieproject in je provincie.

Wil je echt een energiezuinige woning dan kan je kiezen voor een passiefhuis, een energieneutrale of een energiepositieve woning. Een passiefwoning heeft een aangenaam binnenklimaat zonder rekening te houden met het verwarmings- of koelsysteem. Daarom ligt de focus vooral op uitzonderlijk goede isolatie, optimale oriëntatie, driedubbele beglazing en goede ventilatie. Het wordt daardoor bijna onmogelijk om warmte te verliezen. Een passiefwoning dankt haar naam aan het gebruik van 'passieve warmte', zoals de ideale lichtinval van de zon tijdens de winter.

De eisen voor een passiefhuis zijn iets minder streng dan voor een energieneutrale woning, omdat de energie niet noodzakelijk uit hernieuwbare bronnen moet komen. Bij een energieneutrale woning moet de meter op het einde van het jaar dus op 0 staan.

Als laatste type woning hebben we de energiepositieve woning. Een energieplushuis is de volgende stap in de evolutie van energiezuinig bouwen. Zo'n energiepositieve woning wekt meer vermogen op dan ze zelf nodig heeft voor de verwarming van het huis en het water, en het gebruik van apparaten. Net als in een passiefwoning is de isolatie en oriëntatie geoptimaliseerd voor een aangename binnentemperatuur en zijn alle kieren luchtdicht. Net als bij een energieneutrale woning wekt een energieplushuis zelf energie op zonder gebruik te maken van aardgas of andere fossiele brandstoffen. Verwarmen gebeurt bijvoorbeeld met een warmtepomp.

Het overschot aan vermogen kan je als bewoner gebruiken om je elektrische fiets of auto op te laden.

3.2. EPB-eisen

3.2.1. Inleiding

Alle bouwprojecten in Vlaanderen waarvoor een stedenbouwkundige vergunning wordt aangevraagd of een melding wordt gedaan, moeten aan bepaalde energienormen voldoen. Die normen worden de EPB-eisen genoemd. EPB staat voor 'Energieprestaties en Binnenklimaat'.

In onderstaande tabel kan je zien in welke categorieën de eisen worden ingedeeld.

E-peil			
Energieprestatie		Binnenklimaat	
Gebouwschil		Installaties	Ventilatie
U- en R-waarden		Installatie-eisen	Oververhitting
K-peil	S-peil	Hernieuwbare energietechnieken	
Netto energiebehoefte voor verwarming			

De EPB-eisen zijn niet voor alle gebouwen dezelfde. Welke EPB-eisen er gelden voor een bouwproject, is afhankelijk van:

- doel van het gebouw (voor een woning gelden er andere eisen dan voor een kantoor, school, industrieel gebouw, ziekenhuis, horeca, winkels ...);
- aard van de werken (voor nieuwbouw gelden er andere eisen dan bijvoorbeeld voor renovatie);
- jaar van de aanvraag van een stedenbouwkundige vergunning.

3.2.2. Thermische isolatie

K-peil (het isolatiepeil van een woning of ander gebouw)

Het K-peil is een waarde om weer te geven hoeveel warmteverlies er is bij een gebouw. Hoe lager de K-waarde, hoe minder warmteverlies er is. Deze waarde wordt bepaald door de warmtedoorgangscoefficienten van de verschillende gebouwdelen, de compactheid van het gebouw en de isolatie. Het K-peil is voor een volledig gebouw bv. voor een volledig appartementengebouw en niet per appartement.

Het K-peil is de verhouding van de gemiddelde warmtedoorgangscoefficient van het gebouw tot de referentiewaarde.

$$\text{K-peil} = 100 (U_m / U_{m,ref})$$

Het K-peil geldt enkel voor nieuwbouw, niet voor renovaties, dus het K-peil verandert niet na renovatie. Voor bouwaanvragen vanaf 2018 geldt het K-peil enkel nog voor nieuwe industriegebouwen. Voor woongebouwen vervangt het S-peil het K-peil.

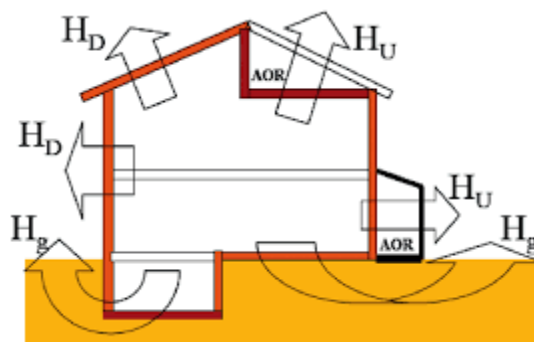
Gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt U_m

De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van een gebouw is de verhouding van de totale warmteoverdrachtscoefficient tot de verliesoppervlakte van het gebouw.

$$U_m = \frac{H_T}{A_T}$$

De warmteoverdrachtscoefficient H_T van het gebouw is afhankelijk van:

- H_D : de warmteoverdrachtscoefficient door transmissie direct naar de buitenomgeving;
- H_g : de warmteoverdrachtscoefficient door transmissie via de grond en via onverwarmde kelders en kruipruimten in contact met de grond;
- H_U : de warmteoverdrachtscoefficient door transmissie naar de buitenomgeving via AOR's (aangrenzende onverwarmde ruimtes).



De verliesoppervlakte A_T wordt bepaald op basis van de buitenafmetingen van het gebouw.

Referentiewaarde $U_{m,ref}$

De referentiewaarde wordt bepaald op basis van de compactheid C van het gebouw. De compactheid is de verhouding van het beschermde volume (V) op het totaal verliesoppervlak (A_T), dus hoe lager de compactheidswaarde C , hoe slechter dit is voor het K-peil.

$$\text{K-peil} = 100 (U_m / U_{m,ref})$$

Het beschermde volume is het volume van alle ruimten in een gebouw dat thermisch afgeschermd wordt van de buitenomgeving (lucht of water), de grond en alle aangrenzende ruimten die niet tot een beschermd volume behoren.

$$C = \frac{V}{A_T}$$

Compactheid C (m)	Referentiewaarde $U_{m,ref}$ (W/m^2K)
$C \leq 1$	1

$1 \leq C \leq 4$	$(C+2)/3$
$4 \geq C$	2

S-peil

Het S-peil of het schilpeil drukt de energie-efficiëntie van de gebouwschil uit. Het vat alle energetische kwaliteiten van de schil (zowel de winsten en de verliezen) samen in 1 getal. Het zegt hoe goed de schil bestand is tegen koude winterdagen, maar ook of er genoeg zonnewering is voor op hete zomerdagen en of de woning een efficiënte vorm heeft. Het S-peil geldt per wooneenheid, dus bijvoorbeeld per appartement en niet voor het volledige appartementengebouw.

Hoe lager het S-peil, hoe minder energie nodig is om de temperatuur van de wooneenheid op peil te houden en hoe efficiënter de vorm. En hoe beter het dus gesteld is met de schil van de woning.

R-waarde

De R-waarde is de warmteweerstand van een materiaallaag. Hoe hoger R, hoe groter de weerstand die de warmtedoorgang ondervindt en hoe beter het materiaal isoleert. De R-waarde is afhankelijk van de materialen waaruit de te onderzoeken constructie bestaat.

De materiaaldikte, in meter, wordt gedeeld door de λ -waarde (de warmtegeleidingscoëfficiënt).

Hoe hoger de waarde, hoe beter de isolatie, een dubbel zo dikke laag heeft proportioneel ook een dubbel zo goede warmteweerstand.

De formule voor de warmteweerstand is:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$R=[m^2K/W]$$

$d=[m]$

$\lambda= [W/mK]$

3.2.3. Energieprestatie

E-peil

Het E-peil is een maat voor de energieprestatie van een woning en de vaste installaties ervan, in standaardomstandigheden.

Hoe lager het E-peil, hoe energiezuiniger de woning is.

Het E-peil hangt af van de thermische isolatie, luchtdichtheid, de compactheid, oriëntatie en bezonning van het gebouw. Daarnaast beïnvloeden de vaste installaties (voor verwarming, warmwatervoorziening, ventilatie, koeling en verlichting) van het gebouw het E-peil.

3.2.4. Binnenklimaat en ventilatie

Wanneer je het huis goed isoleert, heb je bijna geen warmteverliezen meer. Bijgevolg is er ook geen natuurlijke ventilatie meer in het huis. Er kan namelijk geen frisse buitenlucht meer naar binnen.

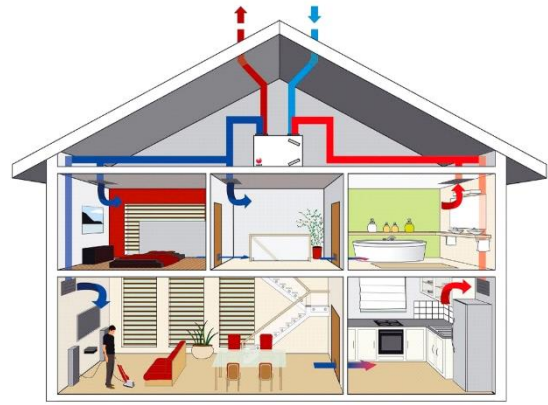
Geen ventilatie in huis heeft een aantal minder fijne gevolgen:

- ontstaan van vochtplekken;
- verontreinigde lucht;
- ontstaan van schimmel en bacteriën;
- ophoping van CO₂.

Om deze problemen te omzeilen kan je een ventilatiesysteem laten installeren type-D. Bij een type-D-systeem wordt de aanvoer van buitenlucht en de afvoer van gebruikte binnenlucht volledig mechanisch verzorgd door 2 ventilatoren. De buitenlucht wordt binnengebracht in een droge ruimte en de gebruikte lucht wordt via natte ruimtes zoals bijvoorbeeld de badkamer afgezogen. Een groot voordeel van een D-type-ventilatie is dat er warmte wordt gerecupereerd. Zo is de lucht die afgezogen wordt van binnen vaak warmer dan die van buiten. Deze 2 luchtstromen kruisen elkaar in het ventilatiesysteem zodat de warmte van de binnenlucht kan afgegeven worden aan de verse koudere buitenlucht. Zo wordt het verlies van warmte beperkt tot een minimum.

Voordelen van een D-systeem

- Voordat buitenlucht de woning binnenkomt, wordt ze op een aangename temperatuur gebracht. Dit heeft een positief effect op het E-peil van de woning. Er komt immers geen koude lucht meer binnen.
- Het systeem filtert ook de lucht voor die je huis binnenkomt waardoor er geen pollen of stof binnenkomen.
- Het beschikt ook over een bypass zodat het in de zomer de binnenlucht niet opwarmt met de warmere buitenlucht.



Wat je wel hebt, is dat ventilatiesystemen type-D meer energie verbruiken doordat ze over 2 ventilatoren beschikken. Maar dit energieverbruik wordt gecompenseerd door de energie die het systeem bespaart omdat je de kouder binnenkomende buitenlucht niet moet opwarmen.

3.3. Koeling

Het doel van ons project is het koppelen van de leerstof i.v.m. faseovergangen met de werking van een koelinstallatie. Aan de hand van dit project willen we leerlingen van het 5^{de} jaar helpen bij het begrijpen van deze leerstof.

In het 5^{de} jaar leren de leerlingen over alle faseovergangen, maar bij deze opstelling staat de overgang van vloeistof en gas centraal. Condenseren en verdampen spelen dus een grote rol bij de werking van een koelinstallatie.

3.3.1. Koeling doorheen de tijd

Technieken om voedsel te conserveren vinden we al terug in het Romeinse en Chinese rijk. Tegenwoordig is de mechanische koeltechnologie enorm verregaand en helemaal anders dan de bewaartechnieken van ongeveer 1000 voor Christus.

De mensen van toen kwamen met allerlei oplossingen om hun voedsel in de winter te conserveren. De Perzen sloegen ijs op in een kuil die Yakhchal werd genoemd en zij waren wellicht de eerste groep mensen die koudeopslag gebruikten om voedsel te bewaren. In de Australische outback is het heet en droog en daarom gebruikte men een Coolgardie-kluis. Deze bestond uit een kamer met jutegordijnen aan het plafond. Die waren gedrenkt in water. Het water verdampte en koelde zo de jutegordijnen en de lucht in de kamer.

Door het vele oogsten van ijs werd de ijsmarkt groter. Het transport van ijs over de oceaan nam toe. Tegen 1830 werd ijs een massaproduct.

John Gorrie maakte een systeem capabel voor het koelen van water tot ijs. Daarna kwam de gekoelde treinwagon (koelwagen of koelwagon), samen met het dichte spoorwegnet. Dit werd

een buitengewoon belangrijke schakel tussen de markt en de boerderij. Gekoeld transport gebeurde niet meer alleen in eigen streek, maar over het hele land. Vandaag de dag wordt op zeer grote schaal koeling gebruikt.

3.3.2. Koeling tegenwoordig

Koeling door radiatoren

Je kunt je huis koelen a.d.h.v. radiatoren. Hierbij laat je koud water door je radiator pompen. Er bestaan twee soorten: met of zonder condensafvoersysteem.

Radiatoren zonder condensafvoersysteem kunnen slechts voor enkele graden verkoeling zorgen, die met condensafvoer kunnen sterker koelen (vergelijkbaar met airconditioner).

Niet-condenserende koeling

De meeste radiatoren kunnen een ruimte maar lichtjes koelen doordat ze zonder condenserende koeling werken. Deze zijn aangesloten op een water-/warmtepomp. Er kan in de zomer gekoeld worden met grondwater. Voor dit proces is geen elektrische energie nodig. Dit is dus milieuvriendelijk.

Condenserende koeling

Dit is voor radiatoren aan de hand van condenserende koeling met ijswater. Dit werkt even goed als een airco. Ze zijn aan te sluiten op verschillende systemen. Je kan bijvoorbeeld een warmtepomp en een HR-ketel combineren.

Nadelen: niet elke radiator is voor deze koeling geschikt.

Voordelen: verwarming en koeling in hetzelfde systeem en als je koelt met grondwater, dan is het milieuvriendelijk.

Peltier element

Het peltiereffect is de directe omzetting van een elektrische stroom in een temperatuurverschil. Het toestel voorzien van dergelijk element zorgt ervoor dat warmte kan verplaatsen van een koude naar een warme plek of omgekeerd, zo wek je een elektrische stroom op uit een temperatuurverschil.

Deze verplaatsing van warmte gaat tegen de natuurlijke warmtegradiënt in. Het wordt alleen gebruikt om te koelen. Er zijn bij deze werking geen bewegende delen zoals vloeistof of lucht. De voordelen zijn dat je een zeer onderhoudsarm en trillingvrij systeem hebt. Maar er is 1 groot nadeel en dat is een heel laag rendement.

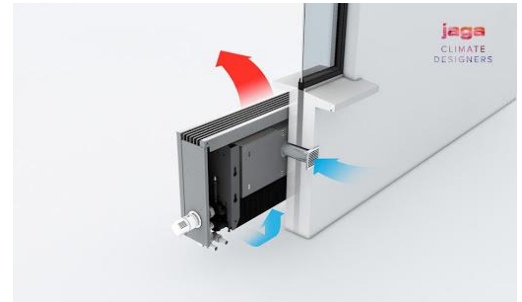
Koeling met vloerverwarming

Vloerverwarming werkt met een warmtepomp. De warmte gaat door de geleidingsbuizen en geeft daarbij stralingswarmte af. Maar dit kan je ook omgekeerd laten werken en dan gaat er koud water door de leidingen.

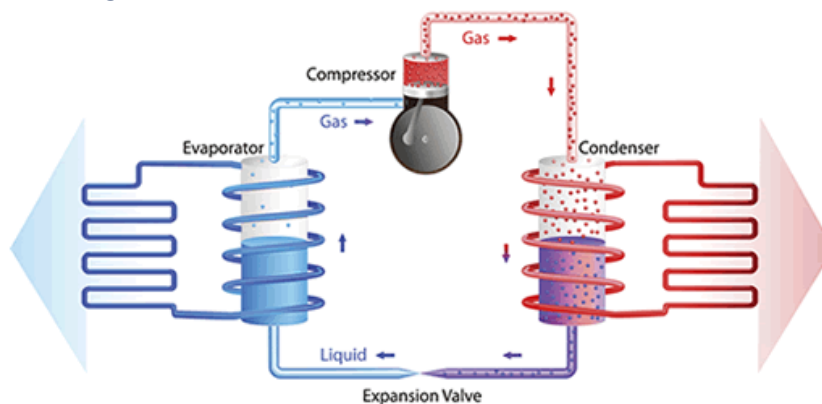
Systeem

Er wordt water, met een temperatuur rond het dauwpunt, door de buizen gestuurd. Als je kouder water zou gebruiken, dan gaat er condensatie optreden. Het dauwpunt hangt af van de relatieve vochtigheid in de ruimte. Natuurlijk wil je dit vermijden en daarom gebruikt men water rond de 18 °C. Dit noemt men hoge watertemperatuurkoeling.

Deze koeling is niet zo effectief als airconditioning en zal niet meteen voelbaar zijn, maar het is een alternatief voor minder sterke koeling. De koude bereikt onmiddellijk de voeten en de enkels.



Airconditioning



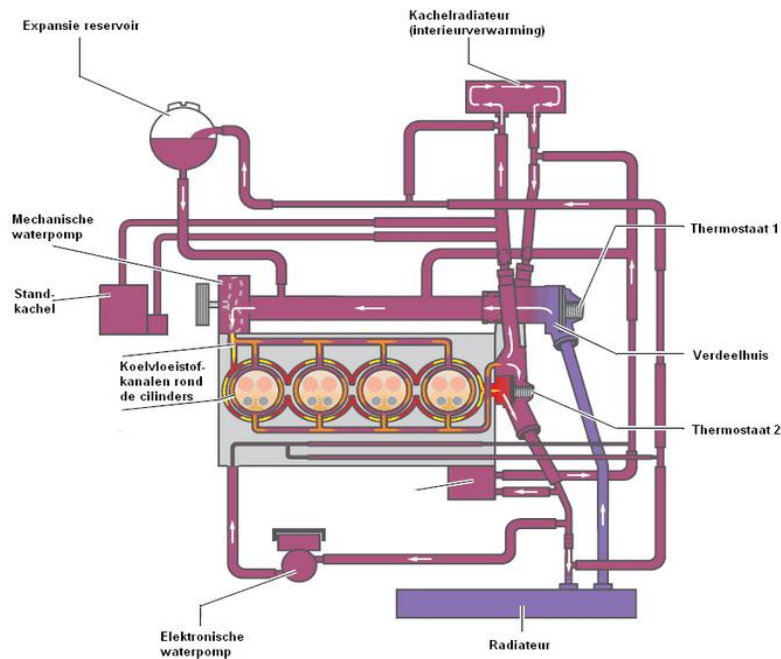
Het koelen met airco werkt zoals het basisprincipe van een koelkast: het onttrekt de warmte uit de ruimte en voert deze af naar buiten. Voor een koelkast betekent dit de warmte naar de keuken brengen, maar bij airco is dat dus de warmte naar buiten brengen.

Centraal staat een compressor met koelvloeistof. Door de warmte in de te koelen ruimte wordt deze koelvloeistof een gas. Warmte is dus nodig en die wordt gehaald vanuit de lucht van de te koelen ruimte. Buiten vloeit dit gas door een condensor, waarbij het weer condenseert tot een vloeistof. In deze condensor geeft de lucht dus zijn opgevangen warmte af aan de buitenlucht. Dit proces herhaalt zich telkens opnieuw waardoor je blijft warmte onttrekken vanuit de ruimte.

Als je lucht in de te koelen ruimte afkoelt, zal er ook condensatie optreden. Deze condensatie komt van de waterdeeltjes in de lucht. De airco is er ook op voorzien om dit water af te voeren naar buiten of om het op te slaan in een reservoir.

Koeling van een motor

Als de motor van bijvoorbeeld je auto draait, zal er heel veel warmte ontstaan en deze warmte is niet goed voor het systeem. Dus we moeten deze warmte zien onder controle te houden en dit doen we met koeling. In dit systeem is er dus opnieuw sprake van een koelmiddel en dat zal zich telkens door het systeem verplaatsen.



Het koelsysteem bestaat uit de doorgangen in het motorblok en de cilinderkop, een waterpomp om het koelmiddel te laten circuleren, 2 thermostaten om de temperatuur van het koelmiddel te regelen, een radiator om het koelmiddel te koelen, een radiator dop om de druk in de koelvloeistof te regelen. Verder zijn er in het systeem een aantal leidingen terug te vinden die onderling verbonden zijn met slangen om het koelmiddel over te brengen van de motor naar de radiator en ook naar het verwarmingssysteem van de auto, waar hete koelvloeistof wordt gebruikt om het interieur van het voertuig op een koude dag op te warmen.

Het koelmiddel volgt een route van de waterpomp, via doorgangen in het motorblok waar het de warmte verzamelt die door de cilinders wordt geproduceerd. Het stroomt dan omhoog naar de cilinderkop, waar het nog meer warmte van de verbrandingskamers opvangt. Het stroomt dan uit langs de thermostaat, door de bovenste radiateurslang en in de radiator. Het koelmiddel stroomt door de dunne afgeplatte buizen die de kern van de radiator vormen en wordt gekoeld door de luchtstroom van de radiator. Vanaf daar stroomt het uit de radiator, door de onderste radiateurslang en terug naar de waterpomp. Op dat moment is het koelmiddel terug afgekoeld en klaar om meer warmte van de motor te op te nemen.

3.3.3. Koeling in de toekomst

Naarmate de inkomens stijgen en de bevolking toeneemt, vooral in de warmere regio's van de wereld, wordt het gebruik van airconditioners steeds gebruikelijker. Het gebruik van airconditioners en elektrische ventilatoren is nu al goed voor ongeveer een vijfde van het totale elektriciteitsverbruik in gebouwen over de hele wereld - of 10% van het totale wereldwijde elektriciteitsverbruik.

In de komende drie decennia zal het gebruik van airconditioners sterk toenemen en een van de belangrijkste aanjagers van de wereldwijde vraag naar elektriciteit worden. Een nieuw rapport van het Internationaal Energieagentschap (IEA) toont aan hoe nieuwe normen de wereld kunnen helpen

om een dergelijke "koude crisis" te voorkomen door de efficiëntie te helpen verbeteren en tegelijk koel te blijven.

Het gebruik van airconditioners en elektrische ventilatoren om koel te blijven is vandaag goed voor bijna 20% van het totale elektriciteitsverbruik in gebouwen over de hele wereld. De stijgende vraag naar ruimteteoeling legt ook een enorme druk op de elektriciteitssystemen in veel landen en verhoogt de emissies. Het lijkt geen twijfel dat, als er geen krachtige beleidsmaatregelen worden genomen, de wereldwijde vraag naar ruimteteoeling en de energie die nodig is om in die behoefte te voorzien, nog tientallen jaren zullen blijven toenemen. Er is echter een enorme kans om groeiende vraag naar koelingsgerelateerde energie snel te beïnvloeden door beleidsmaatregelen om de efficiëntie van apparatuur te verbeteren.

Dit speciale IEA-rapport wil wereldwijd het bewustzijn vergroten over een van de meest kritieke energiekwesties van onze tijd en schetst een duurzaam pad naar de toekomst van koeling dat mensen in staat zal stellen de voordelen van koeling te benutten zonder het energiesysteem of het milieu te belasten.

In de toekomst zal men meer en meer gebruik maken van CO₂ als koelmiddel.

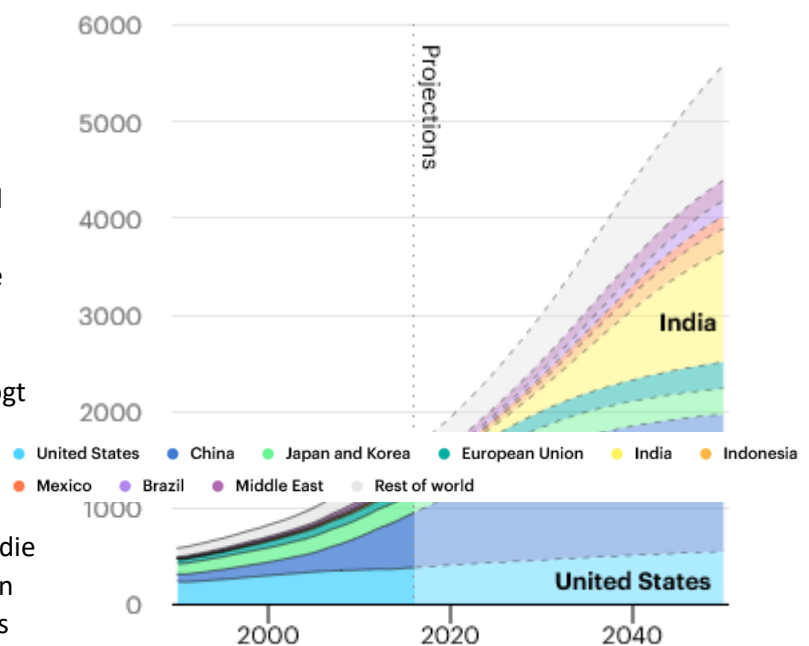
Koelmiddel

Het koelmiddel CO₂, ook wel bekend in de klimaatregelingsindustrie als R744, was al voor 1900 bekend. Door de milieubelastende eigenschappen van synthetische koelmiddelen beleeft het al enkele jaren een heropleving. Koeling met CO₂ is op dit moment de meest ecologische, duurzame en veilige manier van koelen. Dit is ecologisch omdat CO₂ een natuurlijk product en daardoor een veilig koelmiddel is. Men noemt het verder ook nog veilig omdat het niet ontvlambaar is en het is een stof die geen negatieve invloed heeft op de ozonlaag.

De GWP-waarde (Global Warming Potential) is 1 bij CO₂. Deze waarde wordt gebruikt om het effect weer te geven van een koelmiddel op de opwarming van de luchtlagen dicht bij de grond. Bij ons project gebruiken we R134a en deze heeft een GWP van 1430, dit wil zeggen dat dit 1430 keer zo sterk bijdraagt aan het broeikaseffect.

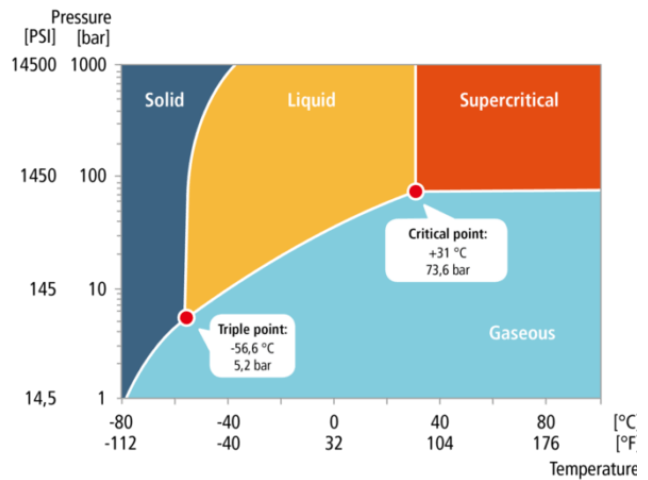
Omdat het gebruik van CO₂ veiliger en milieuvriendelijk is, is er geen bijkomende wetgeving of belasting. Deze systemen hebben een hoog rendement en daarom gebruikt men kleinere leidingen, minder isolatiemateriaal en kleinere compressoren. Het is bewezen dat CO₂ de exploitatiekosten verlaagt.

Van het heden tot in de toekomst zal er waarschijnlijk meer en meer gebruik gemaakt worden van CO₂ als koelmiddel om bovenstaande redenen.



Er is ook wel een nadeel aan CO₂, met name de hoge compressietemperatuur. Dit vergt wat aandacht bij ontwerp en assemblage van de installatie. Maar deze hoge compressietemperatuur is anderzijds ook een voordeel, want daardoor kan men veel meer warmte afgeven. Deze warmterecuperatie is natuurlijk heel interessant op plaatsen waar er ook warmte nodig is.

Een CO₂-installatie kan een economisch en ecologisch verantwoorde oplossing zijn voor elke ondernemer in de voeding: naast een hoog rendement als koelmiddel, is er ook nog de mogelijkheid van de recuperatie van gratis warmte.



The phase transitions of refrigerant R744 in the refrigeration circuit

De temperatuur en druk van gassen en dus ook van koelmiddelen zijn recht evenredig met elkaar onder het zogenaamde kritische punt. Hoe hoger de druk bij hetzelfde volume, hoe hoger de temperatuur. De druk van het gas in de compressor neemt drastisch toe en daarmee ook de temperatuur. Maar het kritisch punt van CO₂ is bijzonder laag, namelijk 31°C en boven dit kritisch punt kan het gas niet meer vloeibaar gemaakt worden.

Daarom vervangt men de condensor door een gaskoeler voor continue koeling van het gas.

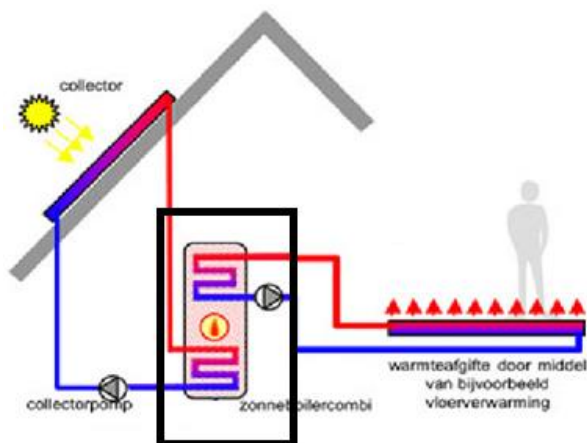
4. Mechanische studie

4.1. Bouw zonneboiler

4.1.1. Conventionele zonneboiler

Werking

Een zonneboiler is eenvoudig gezegd een watervat met een warmtewisselaar (spiraal) die de warmte afgeeft aan dat water. Het opgewarmde water geeft dan warmte af aan de tweede warmtewisselaar die de warmte opneemt.



Je ziet op de afbeelding duidelijk de 2 warmtewisselaars. Warmtewisselaar 1 komt van de zonnecollector en geeft dus warmte af in het vat, waardoor het water in het vat opwarmt. In warmtewisselaar 2 zit koud water, dat opgewarmd wordt door het warme water in het vat. Dat water in warmtewisselaar 2 stroomt dan door middel van een circulatiepomp naar de verwarming, in dit geval de vloerverwarming.

Assemblage



We gebruiken een PVC-buis met diameter 400 mm, een PVC-deksel en een emmer van 10 liter. Tussen de PVC-buis en de emmer zit er isolatie. Als isolatiemateriaal gebruiken we glaswol omdat glaswol gemakkelijk geplooid kan worden. We vullen onze emmer met water en steken er een warmtespiraal in. Ten slotte sluiten we ons vat af met een plexiplaat. Je ziet ook 2 aftappingen deze dienen om het water in en uit de warmtewisselaar te laten gaan. Je ziet ook nog een ontluchter, deze is nodig bij een gesloten circuit om zo de lucht uit de leidingen te laten gaan.

Nut zonneboiler



In ons systeem gebruiken we de zonneboiler voor de verwarming, maar in de werkelijkheid staat de zonneboiler vooral in voor het sanitair warm water dat je gebruikt om te douchen, een bad te nemen of te koken. Op de foto hiernaast zie je verschillende aftakkingen die onder andere dienen om het huis te verwarmen, maar er zijn ook aftakkingen voor het warm water van de douche.

Energiebesparing

Een zonneboiler verbruikt gemiddeld ongeveer 50 procent minder energie in vergelijking met traditionele boilers. Dat is een flinke besparing. Anderzijds is een zonneboiler duurder in aankoop. Het goede nieuws is dat je de investering op een paar jaar tijd gemakkelijk terugverdient. Bovendien verlaag je de terugverdientijd dankzij de verschillende premies voor zonneboilers.

1 warmtewisselaar of 2 warmtewisselaars?

- Warmteboiler met 1 wisselaar

Een warmtewisselaar is een apparaat dat warmte van de ene stof (gas of vloeibaar) naar een andere overbrengt en zo warmte of koude kan wisselen. Een warmteboiler met 1 warmtewisselaar is geschikt voor het verwarmen van leidingwater.

- Warmteboiler met 2 wisselaars

Wil je niet alleen het leidingwater verwarmen, maar wil je ook meer ondersteuning (meer capaciteit) voor de centrale verwarming, dan kan je een ondersteunende warmteboiler kopen. Deze zijn meestal voorzien van 2 warmtewisselaars. Zo bereikt

bijvoorbeeld niet alleen het douchewater, maar ook de verwarming sneller de gewenste temperatuur.

Zelf gebruiken wij een 1 warmtewisselaar om zo de vergelijking te kunnen maken met de andere groep (low energy house), die gebruik maakt van 2 warmtewisselaars.

4.1.2. Compacte zonneboiler

De werking van een compacte zonneboiler is identiek aan het functioneren van andere zonneboilersystemen. De warmte van de zon wordt opgevangen via een vlakkeplaatcollector of vacuümbuiszonnecollector in een voorraadvat met water. Grote verschil is dat bij een compacte



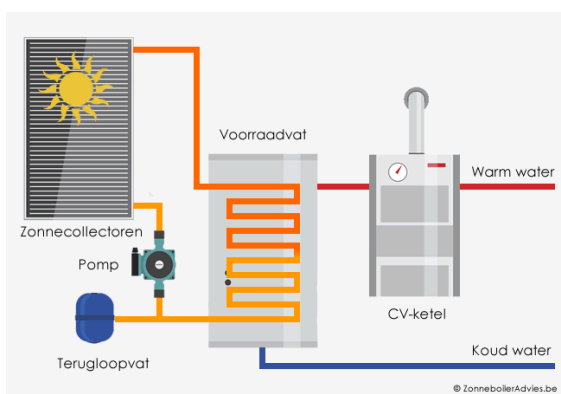
zonneboiler het voorraadvat aan de collector zelf gemonteerd zit. Deze opstelling wordt soms ook een in-situ voorraadvat genoemd. Een compacte zonneboiler heeft geen interne installatie nodig. Het grootste voordeel van een compacte zonneboiler is dat hij geen plaats inneemt binnen in je huis.

Om vorst binnenin je vat tegen te gaan is een warmteweerstand voorzien, het systeem is dan meer zoals een combi-zonneboiler (wordt later meer over verteld). Er zit glycol in de leidingen waardoor de vriestemperatuur lager ligt dan die van water. Dergelijke systemen worden meer gebruikt in warmere landen zoals Spanje, zuiden van Frankrijk... waar de kans op vorst klein is. De leidingen zijn ook extra goed geïsoleerd.

De aansluitleidingen zitten bij een uitvoering voor een schuin pannendak aan de binnenzijde (=vorstvrij) van de woning.

Voor een plat dak worden de leidingen gemonteerd in een dubbelwandige geïsoleerde buis die vanuit de boiler naar de binnenzijde van de woning wordt aangebracht.

4.1.3. Zonneboiler met terugloopsysteem

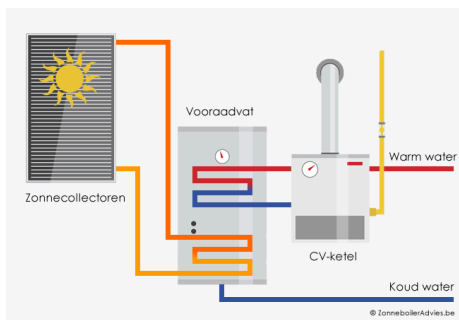


Bij een terugloopsysteem op een zonneboiler wordt de collectorvloeistof (het collectorwater) uit de leidingen gelaten als er geen werking nodig is of als de temperatuur van de zonnecollector lager is dan de temperatuur van het voorraadvat in de woning. Hier worden geen technische snufjes of extra pompen voor gebruikt.

Zwaartekracht en schuin gemonteerde leidingen zorgen er zelf voor dat, eens de pomp stopt, de vloeistof wegloopt uit de leidingen. Er is wel een klein terugloopvat nodig om de collectorvloeistof op te vangen. Dit is een systeem met een extra voordeel: geen risico op oververhitting of bevriezing. Indien het systeem stuk gaat, is er geen gevaar voor verdere schade, want de collectorvloeistof is gewoon water.

4.1.4. Cv-zonneboiler op je bestaande cv-ketel

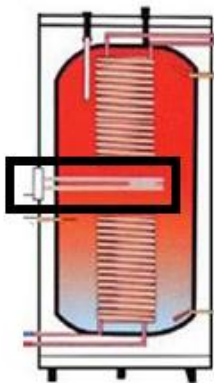
Water opwarmen tot de gewenste temperatuur kost energie. Normaal zal je cv-ketel deze energie volledig zelf moeten ophalen via een fossiele brandstof zoals gas of mazout of via elektriciteit (in de zomer kan de elektriciteit komen van zonnepanelen)



Een cv-zonneboiler

zorgt er echter voor dat het water reeds voorverwarmd naar je cv-ketel wordt gestuurd. Op dat moment zal je centrale verwarmingsketel veel minder energie verbruiken om het water op temperatuur te brengen.

4.1.5. Combizonneboiler: naverwarming binnen de zonneboiler



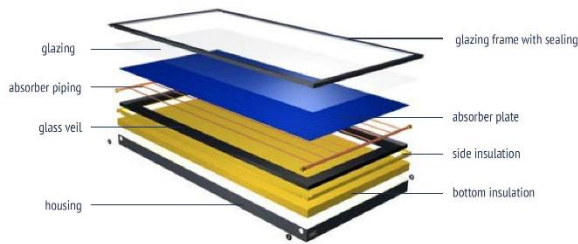
Een zonneboilercombi is een zonneboiler met ingebouwde cv-brander of weerstand. Indien de boiler niet voldoende warm water kan produceren door een gebrek aan zonnewarmte, wordt de geïntegreerde cv-brander of weerstand automatisch ingeschakeld om het water in het voorraadvat na te verwarmen. Zo ben je constant verzekerd van warm water, ook als de zon niet schijnt. Deze brander kan op gas, mazout, maar ook op elektriciteit werken. Als je zonnepanelen hebt, kan het een voordeel zijn om de brander/weerstand op elektriciteit te laten werken.

Het verschil tussen een standaardzonneboiler en de zonneboilercombi zit hem dan ook in deze brander. Doordat deze al in de cv-zonneboiler geïntegreerd zit, heb je geen externe cv-ketel meer nodig.

4.2. Zonnecollector

Een zonnecollector is een warmtewisselaar die zonlicht omzet in warmte. De twee bekendste soorten zijn de vlakkeplaatcollectoren en de vacuümbuiscollectoren.

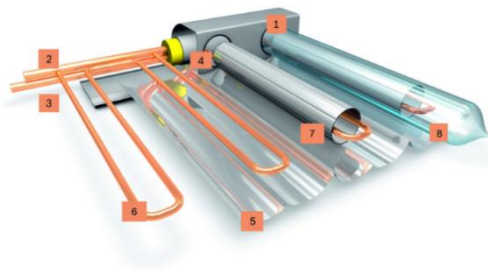
Verskil tussen vlakkeplaatcollectoren en vacuümbuiscollectoren



De werking van een vlakkeplaatcollector is heel eenvoudig. Je kan deze het best vergelijken met een tuinslang of fles water die in de zon ligt. Door de stralingswarmte van de zon wordt de inhoud opgewarmd. Een vlakke zonnecollector werkt op dezelfde manier. Bij een vlakke zonnecollector wordt erop gelet dat de zonnewarmte optimaal kan opgenomen worden en dat er nauwelijks warmteverlies optreedt.

Bijna alle vlakke zonnecollectoren zijn rechthoekig en hebben binnenin koperen buizen lopen. Deze koperen buizen liggen bovenop een donkere absorberende ondergrond en onder een glasplaat zodat de aanwezige zonnewarmte optimaal kan opgenomen worden door de koperen buizen. Men gebruikt koper omdat koperen buizen in vergelijking met andere metalen de beste geleiding bieden en de snelste opname van warmte hebben.

De vloeistof die door de vlakke zonnecollector wordt opgewarmd, zal vervolgens naar de boiler of het voorraadvat getransporteerd worden en daar afgeleverd worden om het aanwezige water op te warmen.



Een vacuümcollector bestaat uit naast elkaar gemonteerde dubbelwandige glazen vacuümbuizen. Aan de binnenkant zijn de buizen voorzien van een coating waardoor de warmte goed kan worden vastgehouden.

In de glazen buizen bevindt zich een koperen absorber (heat pipe) die de warmte opneemt en verzamelt in de top van de heat pipe. Daar wordt het overgedragen aan de langstromende vloeistof. Net zoals bij een vlakkeplaatcollector wordt de warmte van de vloeistof overgedragen aan het voorraadvat.

Bij zonnig weer heeft een vlakkeplaatzonnecollector een hoger rendement dan een vacuümbuiszonnecollector. In koude maanden renderen de vacuümzonnecollectoren dan weer beter.

Een vacuümbuiszonnecollector presteert eigenlijk over het hele jaar gezien goed. Hij zal wel minder opbrengen in de zomer. Op jaarbasis zal je in België meer voordeel halen uit een vacuümbuiszonnecollector. In warme landen ben je meer gebaat met een vlakkeplaatzonnecollector.

Als je de twee verschillende mogelijkheden naast elkaar legt, is het al snel duidelijk welke methode we gaan gebruiken. Het is namelijk veel eenvoudiger om een vlakkeplaatcollector na te bootsen dan een vacuümcollector. Na overleg met de mentor van de GIP leek het onmogelijk om een vacuümcollector te maken.

Assemblage



Wij gebruiken een houten bak met daarin eerst isolatie (styrodurplaat) met daarbovenop een ijzerplaat. Op de ijzeren plaat monteren we een koperen leiding. In de praktijk legt men altijd een glasplaat op de zonnecollector, wij doen dit niet omdat onze nagebootste zon infraroodlampen zijn en die infraroodlampen hebben lange golflengtes en gaan dus moeilijk door glas. Dit is ook de reden waarom we de zonnecollector in het zwart gespoten hebben, zwart absorbeert goed.

Rendement in de praktijk

Met een goed afgesteld systeem kan je op jaarbasis zo'n 50% besparen op de kosten voor warm water.

Voor het verwarmen van je woning via zonnecollectoren (verwarmingsondersteuning) kan je rekenen op een besparing van 15% tot 25%. Deze lagere opbrengst heeft te maken met het feit dat zonnecollectoren minder warmteopbrengst hebben op dagen met minder zon en dat zijn meteen ook de dagen waarop je meer nood hebt aan verwarming.

4.3. Warmtebox

4.3.1. Inleiding

De zonnecollector vangt zonlicht op en zet dit om naar warmte in het huis. Aangezien ons project binnenshuis staat, zullen we zelf een zon moeten creëren. Dit doen we aan de hand van infraroodlampen.

4.3.2. Infraroodlampen

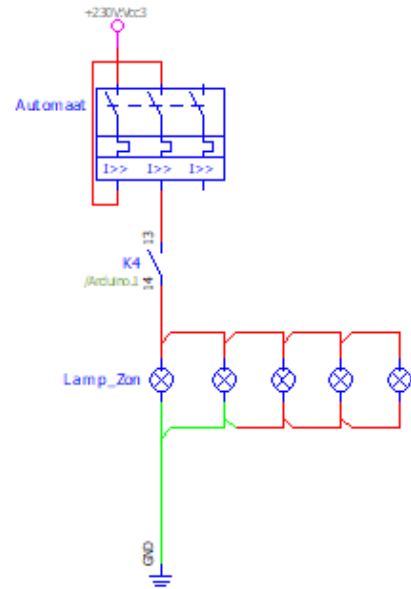
PAR38 IR 150W E27 230V Red UNP/20

Deze Philipsinfraroodlampen zijn oorspronkelijk bedoeld voor de gezondheidszorg en lichaamsverzorging. Ze zijn ontworpen voor het behandelen van diepliggende spieraandoeningen en sportblessures. De grote hoeveelheid warmte, die deze lamp afgeeft, is ook de reden waarom wij deze infraroodlampen gebruiken. De infraroodlamp heeft een medium golflengte, je kan dit herkennen door het donkerode licht. Deze lamp is dus ideaal voor het opwarmen van objecten zoals onze zonnecollector. Je hebt naast medium golflengte ook een korte en lange golflengte, deze zijn minder geschikt voor ons.



4.3.3. schakeling

De schakeling van de 5 infraroodlampen van 150 watt is zeer gemakkelijk. Deze lampen worden allemaal parallel geschakeld. We sluiten de lampen op het net van 230 volt aan, eerst steken we er een automaat tussen voor de beveiliging. Vervolgens een schakelaar voor het in- en uitschakelen van de lampen. Tenslotte worden de 5 lampen parallel geschakeld en keren we terug naar de ground.

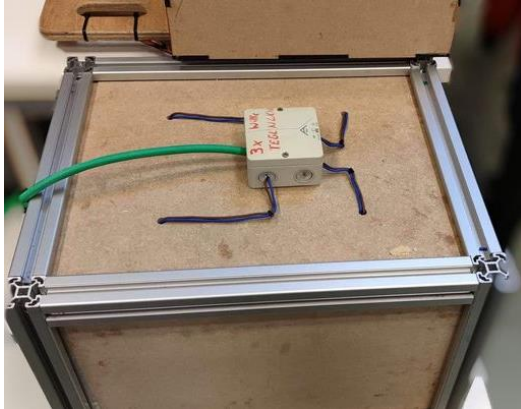


4.3.4. Plafondfitting

Om de lampen goed te positioneren gebruiken we fittings. De fittings hangen we aan de bovenkant van onze warmtebox en tenslotte draaien we onze infraroodlampen in deze fittings.



4.3.5. Constructie warmtebox



De box is gemaakt uit 12 aluminium profielen, 3 mdf-platen van 6 mm voor de zijanten en 2 platen van 10 mm voor het bevestigen van de lampen en voor het ondersteunen van de zonnecollector. De bedrading komt allemaal samen in een verdeeldoosje.



De binnenkant van onze warmtebox is voorzien van stralingsfolie. Deze folie kan je nog terugvinden in oude huizen achter de radiator om de warmte binnen te houden. Op nevenstaande figuur zie je ook opnieuw de fittings en de infraroodlampen, hangend aan de bovenste plaat. Op de onderste houten plaat staat dan de zonnecollector.

4.4. Compressorstudie (reverse engineering)

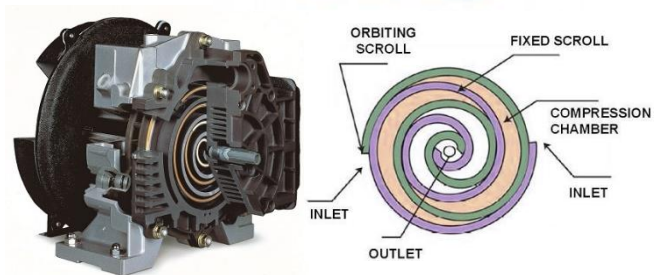
4.4.1. Soorten compressoren

Mechanische compressoren

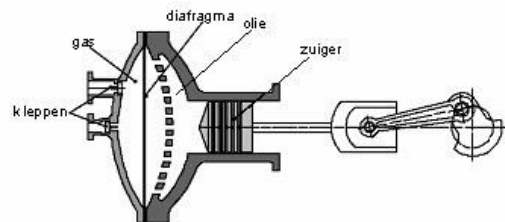
Eerst en vooral belichten we de welgekende zuigercompressor, deze compressor werkt aan de hand van een zuiger die in een cilinder heen en weer gaat. Via de inlaatslag zuigt de compressor de lucht aan, hierna wordt deze samengedrukt en daarna afgegeven aan het vat van de compressor. Een eenvoudig voorbeeld hiervan is de fietspomp, maar ook automotoren passen hetzelfde werkingsprincipe toe.



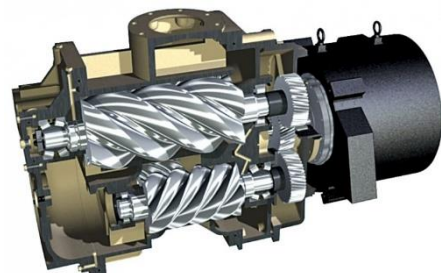
Daarnaast hebben we ook de populaire scrollcompressor. Deze compressor bestaat uit een bewegende spiraal en een contraspiraal, de contraspiraal staat stil en de bewegende spiraal beweegt hierin. Door deze beweging ontstaan holtes die steeds opnieuw verkleinen waardoor de druk van het gas vergroot. Daarna wordt dit samengedrukte gas terug afgevoerd.



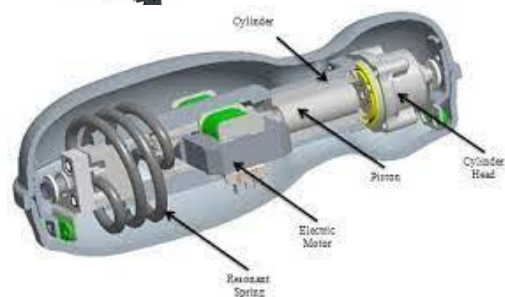
Ook hebben we een variant op de zuigercompressor, namelijk de diafragmacompressor. Het samendrukken gebeurt hier niet aan de hand van een zuiger en cilinder, maar aan de hand van een op- en neergaand membraam. Dit membraam wordt in beweging gebracht door een krukdrijfstaangmechanisme, maar omdat er gewerkt wordt met een membraam kan er worden gewerkt met giftige stoffen. Dit omdat enkel het membraam, het huis en de leidingen in contact komen met de stof.



Dan is er ook nog de schroefcompressor met een iets gecompliceerdere werking. In een behuizing bevinden zich 2 rotoren voorzien van een schroefprofiel. Als deze gaan draaien, wordt het gas hiertussen gecompriemd. Dergelijke compressoren worden veel gebruikt bij dragrace-motorfietsen en koeltechnieken.

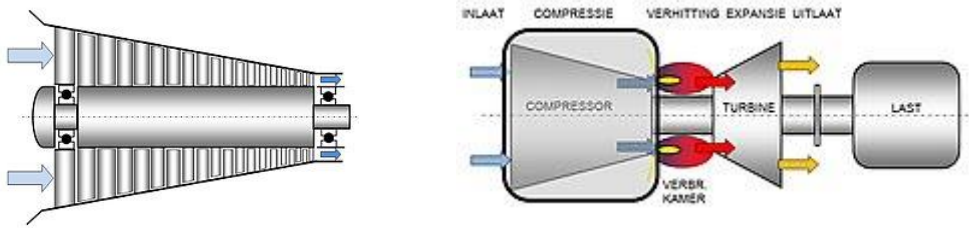


Tot slot bestaat er ook nog de lineaire compressor, een zuigercompressor met een vrij bewegende zuiger die door een soort van lineaire motor wordt aangedreven.

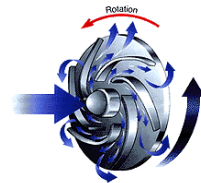


Stromingscompressoren

De axiale compressor is een eerste voorbeeld van een stromingscompressor. Bij deze compressor wordt de stof in de lengterichting gecompriemd, deze compressor levert ook een constante stroom van gecompriemd gas.

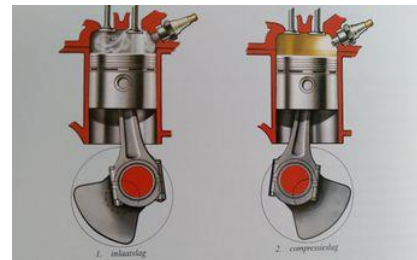


Nog een andere soort stromingscompressor is de centrifugaal compressor. Bij deze compressor wordt de stof loodrecht op de lengterichting gecompriemd en deze compressor heeft min of meer dezelfde eigenschappen als de axiale compressor.

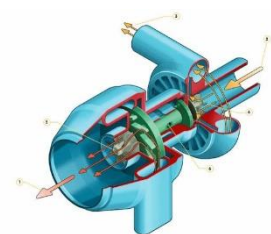


4.4.2. Gebruik

Compressoren kennen tal van toepassingen. Het hoofddoel van compressoren is om een gas samen te drukken en zo de druk ervan te verhogen, deze wordt dan al dan niet opgeslagen in een vat of direct gebruikt. Compressoren zijn vooral gekend in de vorm van een 'compresseur' die iedereen waarschijnlijk wel in zijn garage heeft staan, maar toch worden compressoren ook in veel minder voor de hand liggende situaties gebruikt, zoals bijvoorbeeld in ons geval in bij een koelsysteem.



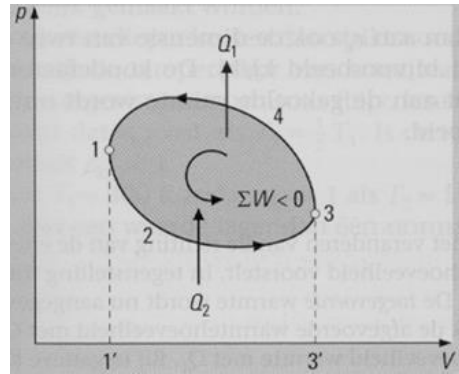
Compressoren worden ook gebruikt in de autotechniek, meer bepaald in een motor. Denk maar eens aan de verschillende slagen van een verbrandingsmotor. Bij de verbrandingsmotor wordt de brandstof in de cilinder getrokken en daarna wordt deze samengedrukt aan de hand van de bewegende zuiger. Dit is niet de enige toepassing bij auto's, ook hebben we een turbo die zich in zeer veel types van auto's bevindt. Die hergebruikt de uitlaatgassen om meer lucht in het blok te persen en zo het vermogen te verhogen bij een gelijke of zelfs kleinere cilinderinhoud.



Tot slot worden compressoren ook gebruikt bij luchtvering (air-ride): achterin de wagen wordt dan letterlijk een compressor geplaatst die de samengedrukte lucht naar de luchtzakken onder de auto vervoert.

4.4.3. Fysica van de compressor

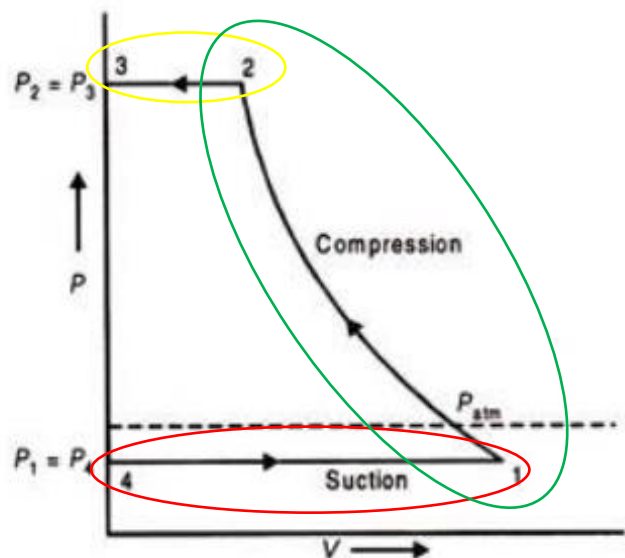
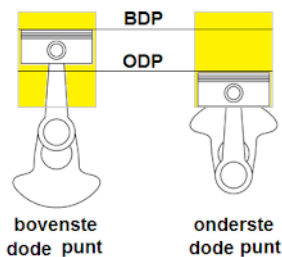
De compressor in ons koelsysteem kan worden gekoppeld aan de fysica, meer specifiek aan een kringproces, omdat de eindtoestand van het gas dezelfde is als de begintoestand. We kunnen dit zeggen omdat we in een gesloten systeem werken, namelijk het gehele koelsysteem. In ons geval spreken we van een negatief kringproces omdat we arbeid toevoegen om warmte over te brengen van een koudere ruimte naar een warmere omgeving.



Op de bovenste foto wordt een negatief kringproces afgebeeld, de Q_2 staat voor de warmtetoevoer. De Q_1 staat voor de warmteafvoer.

Op de afbeelding hiernaast is het kringproces van een compressor afgebeeld. In de rode ellips zien we dat er gas wordt aangezogen, dit is een isobare toestandsverandering. Een isobare toestandsverandering wil zeggen dat de druk niet verandert tijdens de volumevergroting. Dit is dus de eerste stap die veroorzaakt wordt door de zuiger die zich naar het onderste dode punt in de cilinder beweegt. Daarna wordt de zuiger aan de hand van de elektromotor naar het dode punt bovenaan de cilinder verplaatst. Dit zorgt ervoor dat het volume verkleint en de druk toeneemt. Dit noemt men een adiabatische compressie, wat dus wil zeggen dat er een compressie gebeurt zonder dat er warmte wordt afgevoerd naar buiten. Het systeem is in ons geval de cilinder met zuiger. Eenmaal het gas is samengedrukt, wordt dat afgevoerd door de poorten, dit kan je zien als het laatste deeltje voordat de zuiger het 2^e dode punt heeft bereikt.

Het volume zal dus nog een klein beetje verkleinen, maar de druk zal gelijk blijven. Dit noemen we opnieuw een isobare toestandsverandering. Daarna begint deze cyclus opnieuw, maar omdat het gas na de samendrukking in de compressor door het koelsysteem weggevoerd wordt en er intussen nieuw gas aangevoerd wordt op lagere druk, spreken we van een open kringproces.



4.4.4. Demonteren van een compressor

De compressor die wij als groep uit elkaar hebben gehaald is een hermetische compressor (bovenste foto), wat wil zeggen dat hij volledig is afgesloten. Er bestaan ook semi-hermetische compressoren (middelste foto) en open compressoren (onderste foto), de meest voordelige (voor enerzijds grote installaties) zijn de semi-hermetische compressoren. Dit omdat bij deze compressoren de behuizing open gemaakt kan worden, wat bij hermetische compressoren dus niet kan. Hierdoor wordt het onmogelijk om de compressor te herstellen. Bijvoorbeeld als er een poort kapot is, kan deze bij de hermetische compressor niet worden hersteld en wordt de volledige compressor vervangen.



Deze hermetische constructie was ook de reden waarom de rotor (onderdeel motor) op de as geperst zat, terwijl wij dachten dat deze met een bout vast zat. Bij een open compressor wordt nog een ander systeem toegepast, daar komt de as namelijk uit de behuizing en wordt er een externe motor op aangesloten.



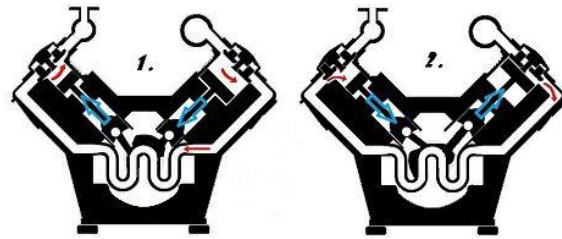
Aangezien wij dus te maken hadden met een volledig afgesloten compressor moest deze dus compleet worden opengemaakt. Dat kon je opmerken doordat het koelgas rechtstreeks in een rubberen leiding tegen de opening van het omhulsel terecht kwam, dit was dan ook de lagedrukzijde van de compressor. Op de foto bevindt zich het cilinderdeksel, je ziet dat deze is opgedeeld in 2 delen aan de hand van een ijzeren dichting. Deze scheidt de hogedrukzijde van de lagedrukzijde. Het gas dat wordt binnengezogen in de cilinder door de zuiger noemt men het lagedrukgas. Het aangeduide deel op het cilinderdeksel is dan ook de lagedrukzijde. Het binnenzuigen gebeurt aan de hand van poorten die onder het cilinderdeksel en boven de cilinder zitten. Wanneer de zuiger naar beneden toe beweegt, gaat de poort open en op deze manier wordt het gas binnengezogen.



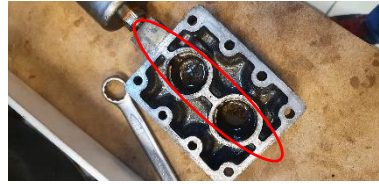
Eens het gas in de cilinder zit, wordt dat samengedrukt door de zuiger, de zuiger wordt aangedreven door een elektromotor. De elektromotor bestaat uit 2 delen: de rotor en de stator. In ons geval is de rotor de magneet en de stator de spoel. Dit is het generatorprincipe: doordat de magneet draait in de spoel zal er elektriciteit opgewekt worden. Hierdoor zal de magneet (die op de as geperst zit) beginnen draaien. Hierdoor kan de zuiger dus het gas samenpersen. Als het gas is samengeperst, wordt het via de andere poort terug uit de cilinder gelaten, wanneer dit precies gebeurt, is bepaald door de fabrikant. De poorten gaan open wanneer er in de cilinder een even grote druk is als net na de poort.



Ook moet er dus rekening gehouden worden dat er bij samendrukking van gassen warmte wordt gecreëerd en dat de temperatuur van het gas dus zal stijgen. Hierdoor wordt dus ook de maximaal bereikbare druk gelimiteerd. Wil je echter een grotere druk bereiken, dan moet je werken met 2 verschillende, apart geplaatste zuigers. Dan heb je 1 grote zuiger en 1 kleine zuiger nodig. De grote zuiger zal dan een eerste maal het gas samendrukken en dit samengedrukte gas wordt dan naar de andere cilinder met kleine zuiger getransporteerd aan de hand van een leiding die zich in open lucht bevindt, zodat deze kan afkoelen. Is deze niet afgekoeld of wordt deze leiding geïsoleerd, dan gaat de compressor kapot, want dan lopen de temperaturen te hoog op. Deze buis kan ook door een vloeistof lopen om het koelproces te bevorderen. Als dit gas dan is afgekoeld en in de 2^e cilinder terechtkomt, wordt het nogmaals samengedrukt, hierdoor kunnen veel hogere drukken bereikt worden. Op de afbeelding zie je hoe het gas in de leiding wordt gekoeld aan de hand van een vloeistof.



Van zodra het gas uit de cilinder komt, bevinden we ons aan de hogedrukszijde, daar bevindt het samengeperst gas zich. Het gas wordt dus uit de cilinder gelaten aan de hand van deze andere poorten. Deze poorten bevinden zich op hetzelfde onderdeel als de andere poorten, maar aan de andere kant. Het hogedrukgas komt terecht in het omcirkeld deel van het cilinderdeksel. Eens het zich daar bevindt, gaat het via gaten door naar dit vat op de foto, volgens ons is dit om een constante druk te behouden in het systeem en werkt dit als een soort reservoir (het gas met hoge druk komt er telkens in schokken in en komt er vloeiend terug uit). Van hieruit gaat het gas verder naar het koelsysteem, in ons geval het koelhuis.



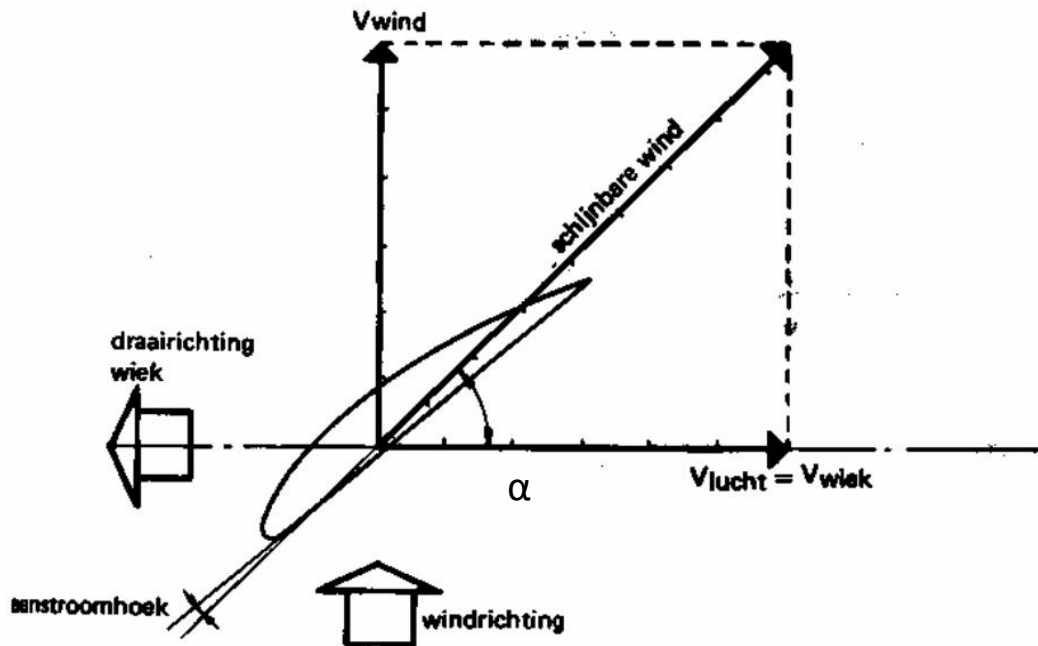
4.5. Aerodynamica

4.5.1. Schijnbare of ware wind

De schijnbare wind is de resulterende van de windsnelheid en de snelheid van de wiek zelf. Ware wind is de wind die aanwezig is zonder dat de wiek draait.

Stel:

We houden de wieken van de windmolen tegen zodat deze niet kunnen bewegen en we meten op dat moment de grootte ("sterkte") en richting van de wind. De waarden die je nu verkrijgt, zijn waarden van de ware wind. Laten we de wieken van de windmolen los zodat deze kunnen draaien ten gevolge van de ware wind en we meten op dat moment de grootte en sterkte van de wind, dan zullen we andere resultaten opmeten, want op dat ogenblik meet je de schijnbare wind.



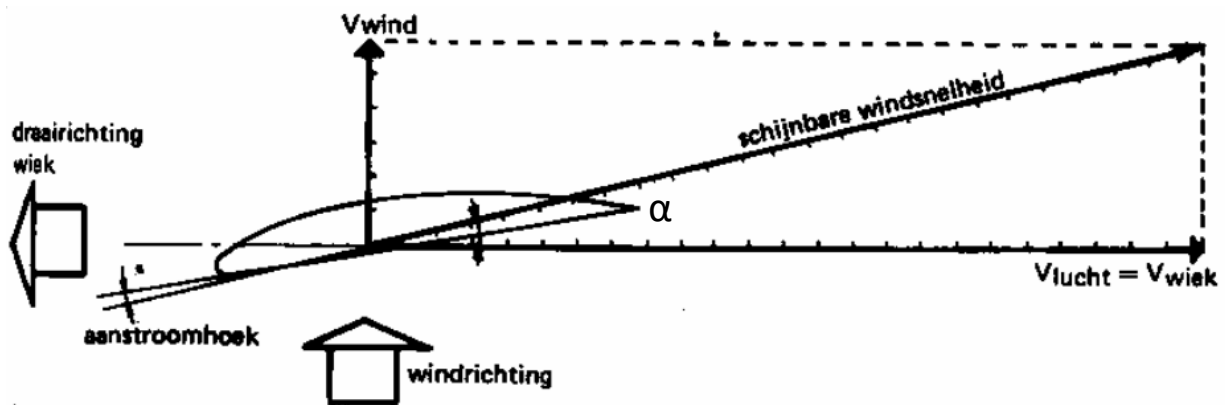
Toepassing 1

Stel dat de wiel een snelheid heeft van 6 m/s en de wind ook. Dan is het vanzelfsprekend dat de hoek tussen de schijnbare windrichting en de draairichting van de wieken gelijk is aan:

$$\text{Bgtg} \left(\frac{6}{6} \right) = 45^\circ$$

en de snelheid van de schijnbare of resulterende wind is

$$\sqrt{6^2 + 6^2} = 8,5 \text{ m/s.}$$



Toepassing 2

Als de wiel snelheid 24 m/s bedraagt en de windsnelheid is 6 m/s, dan bedraagt de schijnbare wind bijna 25 m/s en de hoek komt overeen met 14°.

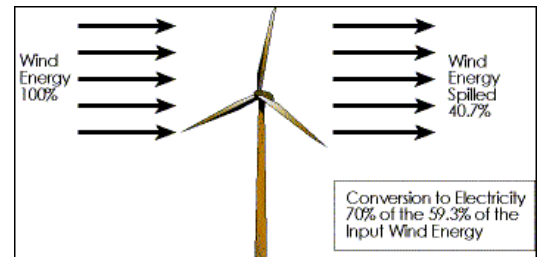
Besluit:

$$\alpha_{\text{schijnbare wind}} = \tan^{-1} \frac{v_{\text{wiel}}}{v_{\text{wind}}}$$

$$v_{\text{schijnbare wind}} = \sqrt{v_{\text{wiel}}^2 + v_{\text{wind}}^2}$$

4.5.2. Wet van Betz

Volgens de wet van Betz is de theoretisch maximale hoeveelheid energie die door middel van een rotor aan wind kan worden onttrokken 59%. Deze grens van 59% wordt veroorzaakt doordat de lucht achter de turbine nog weg moet kunnen stromen en dus nog een zekere stromingsenergie moet bezitten.



Afleiding: Wet van Betz

Volgens de wet van Betz, ontwikkeld door Albert Betz, is er een theoretisch maximale hoeveelheid energie die door middel van een rotor (bijvoorbeeld wieken van een windmolen) aan een stromend fluïdum (wind) kan worden onttrokken.

Om deze te berekenen gebruikt men het model van een cirkelvormige schijf in plaats van de rotor waarbij de schijf de energie onttrekt aan het fluïdum dat erdoor gaat. De snelheid van het fluïdum is lager ná de schijf dan er voor.

Stel v_1 is de snelheid van het fluïdum vóór de rotor en v_2 de snelheid erna. De gemiddelde snelheid is:

$$v_{gem} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$$

Noem de oppervlakte van de schijf S en ρ de dichtheid van het fluïdum. De massastroom (de massa van het fluïdum per tijdseenheid) is dan:

$$\dot{m} = \rho * S * v_{gem} = \frac{\rho * S * (v_1 + v_2)}{2}$$

Het onttrokken vermogen is het verschil in kinetische energie van het instromende en uitstromende fluïdum per tijdseenheid:

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \frac{1}{2} * \dot{m} * (v_1^2 - v_2^2) \\ &= \frac{1}{4} * \rho * S * (v_1 + v_2)(v_1^2 - v_2^2) \\ &= \frac{1}{4} * \rho * S * v_1^3 * \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^2 + \left(\frac{v_2}{v_1}\right) - \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^3 \right] \end{aligned}$$

Door \dot{E} te differentiëren naar $\frac{v_2}{v_1}$ bij een fluïdumsnelheid van v_1 en een oppervlakte S vindt men de maximale of minimale waarde voor \dot{E} . De uitkomst is dat

$$\dot{E} \text{ bereikt een maximum bij } \frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{3}$$

$$\text{stel } \alpha = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\dot{E}_{max} \Leftrightarrow \frac{d(1 - \alpha^2 + \alpha - \alpha^3)}{d\alpha} = 0$$

$$\Leftrightarrow -2\alpha + 1 - 3\alpha^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow 3\alpha^2 + 2\alpha - 1 = 0$$

$$D = b^2 - 4ac = 4 - 4 \times 3 \times (-1) = 16$$

$$\alpha_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{D}}{2 \times a} \quad \alpha_1 = -1 \quad \alpha_2 = \frac{1}{3}$$

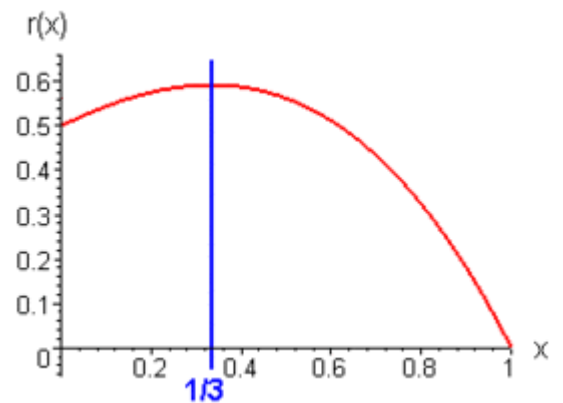
Substitueer deze waarde met als resultaat:

$$\dot{E}_{max} = \frac{16}{27} * \frac{1}{2} * \rho * S * v_1^3$$

Het vermogen dat beschikbaar is in een cilindrisch fluidum met een oppervlakte van de doorsnede S en die zich beweegt met een snelheid

$$\dot{E} = \frac{1}{2} * \rho * S * v_1^3$$

$$C_p = \frac{E_{max}}{E} \quad C_{p,max} = \frac{16}{27} = 0,593$$



Verliezen door een rotor vormen de belangrijkste energieverliezen in, bijvoorbeeld, een windmolen. Het is belangrijk om deze dan ook zo klein mogelijk te maken. Moderne rotors hebben een C_p waarde van ongeveer 0,4 tot 0,5, wat dus overeenkomt met ongeveer 70 tot 80% van wat theoretisch mogelijk is

v_{gem} = de gemiddelde snelheid

v_1 = de snelheid van het fluidum vóór de rotor

v_2 = de snelheid van het fluidum na de rotor

\dot{m} = massastroom (massa per tijdseenheid)

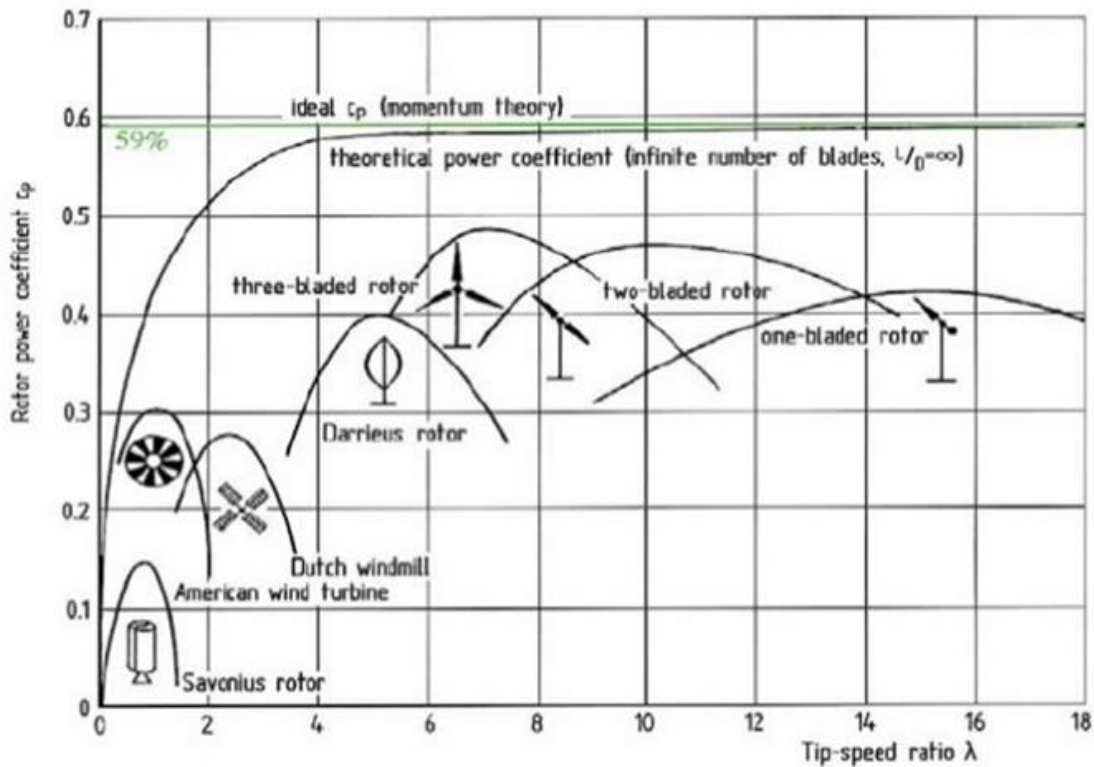
ρ = massa dichtheid van het fluidum

S = oppervlakte van de schijf

\dot{E} = onttrokken vermogen (is het verschil in E_k (kinetische energie) van het instromende en uitstromende fluidum per tijdseenheid)

C_p = prestatiecoëfficiënt

4.5.3. Toepassing wet van Betz



Coefficient of Performance (efficiency) of wind rotors of various designs
(Erich Hau, *Wind Turbines*, 2nd ed., 2006, Figure 5.10, page 101)

Als we de wet van Betz toepassen op de windmolen, zien we dat maar 59% van de windenergie ter beschikking is om elektrische energie op te wekken. De beste windmolen is die met drie bladen, deze kan 70% van die beschikbare windenergie omzetten in elektrische energie. Dus theoretisch gezien is het beste rendement van deze omzetting van windenergie naar elektrische energie 41.3%.

4.5.4. Liftkracht

De liftkracht is de kracht die een stromend gas of vloeistof op een lichaam uitoefent loodrecht op de richting van de stroming. Bij snellopers wordt het vleugelprofiel nauwkeurig berekend voor een zo hoog mogelijk rendement.

Door de vorm van de vleugels ontstaat er een liftkracht die ervoor zorgt dat de rotor ronddraait. Het is dezelfde lift die ervoor zorgt dat een vliegtuig stijgt.

De lucht die aan de bovenzijde langs het profiel stroomt, legt een langere weg af dan de lucht aan de onderzijde. Hierdoor ontstaat aan de bovenzijde een onderdruk. Aan de onderzijde (de windzijde) ontstaat een overdruk. Dit drukverschil geeft een opwaartse kracht loodrecht op de aanstroomrichting, dit noemen we de liftkracht. Bij een windmolen wordt deze lift omgezet in een mechanisch koppel.

4.5.5. Overtrek

Overtrek is het proces waarbij, door vergroting van de invalshoek van de wind op de wijk, de luchtstroom het profiel van de wijk niet meer kan volgen en loslaat. Hierdoor verliest de wijk een groot deel van zijn liftkracht, waardoor de rotatiesnelheid van de rotor daalt.

4.6. Massatraagheidsmoment

4.6.1. Wieken

De wieken van de windmolen zijn groot en hebben een grote massa, dit is niet zonder reden. Hierdoor kunnen we profiteren van de voordelen van het traagheidsmoment. Het traagheidsmoment is het analogon (overeenkomstig begrip) van het begrip 'trage massa', dat de mate van verzet tegen lineaire versnelling uitdrukt, zoals weergegeven in de tweede wet van Newton. Het traagheidsmoment is zowel afhankelijk van de totale massa als van de verdeling van deze massa; hoe verder een deel van de massa verwijderd is van de rotatie-as, hoe groter de bijdrage van dat deel aan het traagheidsmoment.

Het (massa)traagheidsmoment geeft de mate van verzet tegen verandering van hoeksnelheid van een lichaam met een zekere massa. Dus hoe groter het traagheidsmoment hoe moeilijker het weliswaar is de rotatie van de wieken op gang te krijgen, maar als die eenmaal draaien is het moeilijk af te remmen, en blijft de rotatie gelijkmatig. Beter gezegd, hoe groter het traagheidsmoment, hoe groter het moment moet zijn om een bepaalde hoekversnelling te verkrijgen.

4.6.2. Formules

Alle formules zijn terug te vinden in het 'tabellenboek voor metaaltechniek' en worden gezien in de lessen mechanica in het 6^{de} jaar.

Voor massatraagheidsmoment bestaan er verschillende formules voor verschillende toepassingen, in het geval van de windmolen kunnen we de formule voor een roterende staaf gebruiken.

$$J = \frac{m \times l^2}{3}$$

Met m de massa van de wijk en l de afstand van het middelpunt van de as tot aan het uiteinde van de wijk

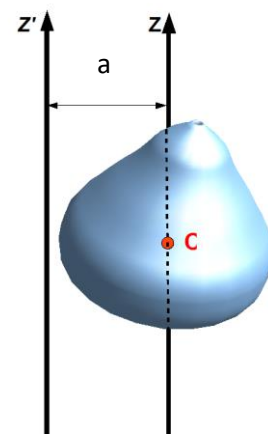
De wieken worden bevestigd aan een cilindervormig aluminium stuk, hiervoor is er een andere formule van toepassing. Namelijk deze voor het massatraagheidsmoment van een cilinder.

$$J = \frac{m \times r^2}{2}$$

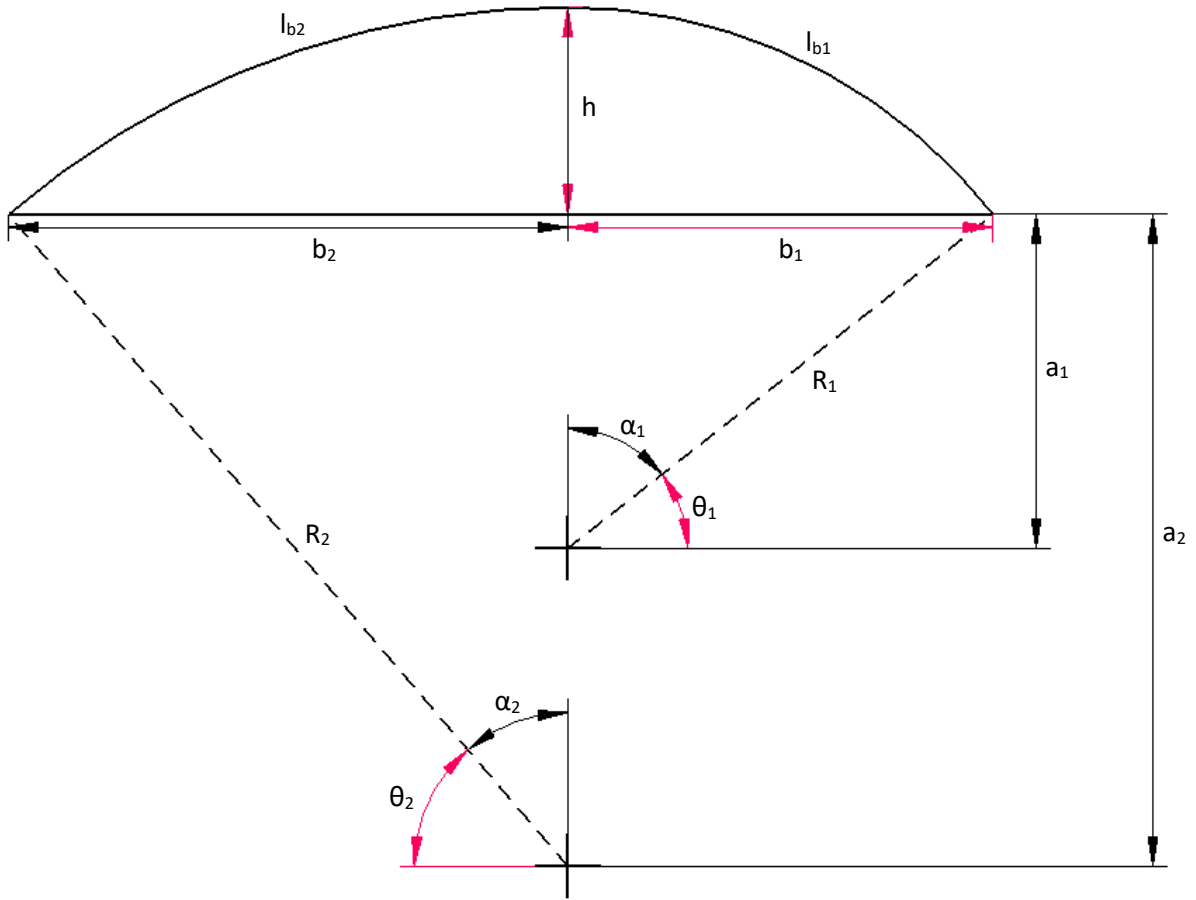
Met m de massa van het aluminium stuk en r de straal van het stuk

Stelling van Steiner: bij de stelling van Steiner berekenen we het traagheidsmoment van een lichaam rond zijn eigen as, deze as moet door het zwaartepunt van dit lichaam gaan .

$$J = J_Z + a^2 \times m$$



4.6.3. Meting en berekening wiken



Afstand (mm)	Hoogte (mm)	Tot. Breedte (mm)	Breedte 1 (mm)	Breedte 2 (mm)
0	15,2	69,7	29	40,7
50	14,6	65,4	28	37,4
100	13,95	59,9	25,7	34,2
150	13	54,6	24	30,6
200	12,1	49,2	21,8	27,4
250	10,05	43,6	19,1	24,5
300	10,1	38,2	16,9	21,3
350	8,8	32,3	14,3	18
400	8,1	26,3	12,4	13,9
450	7	20,6	9,2	11,4
500	3,4	12	5,9	6,1

formularium:

$$a = \frac{b^2 - h^2}{2 \times h}$$

$$R = a \times h$$

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{a}{R} \right)$$

$$l_b = \frac{\pi \times R \times \alpha}{180}$$

$$k = \pi \times R \times \alpha$$

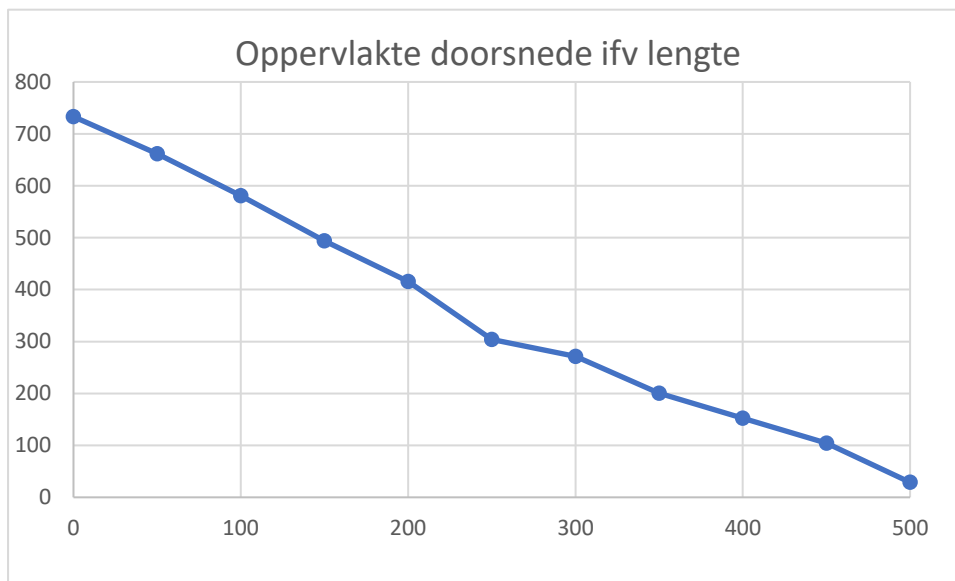
$$A = \frac{(l_b \times R) - (k \times (R - h))}{4}$$

Met formularium bekomen we:

Afstand (mm)	a ₁	R ₁	θ ₁ (rad)	θ ₁ (graden)	α ₁ (graden)	l _{b1}	A ₁
0	20,06447	35,26447	0,6052544	34,678523	55,32148	34,04932	309,43082
50	19,54932	34,14932	0,60951	34,922353	55,07765	32,82726	286,82383
100	16,69848	30,64848	0,5761968	33,013643	56,98636	30,48296	252,55265
150	15,65385	28,65385	0,5779508	33,114143	56,88586	28,44884	219,73814
200	13,58802	25,68802	0,5573784	31,935432	58,06457	26,03269	186,25471
250	13,12475	23,17475	0,6020563	34,495283	55,50472	22,45031	134,79875
300	9,089109	19,18911	0,4934416	28,272124	61,72788	20,67347	121,54978
350	7,21875	16,01875	0,4674864	26,784996	63,215	17,67364	89,940771
400	5,441358	13,54136	0,4135172	23,692788	66,30721	15,67113	72,367759
450	2,545714	9,545714	0,2699535	15,467196	74,5328	12,41747	47,556531
500	3,419118	6,819118	0,5252182	30,092784	59,90722	7,129919	14,223481

Afstand (mm)	a ₂	R ₂	θ ₂ (rad)	θ ₂ (graden)	α ₂ (graden)	l _{b2}	A ₂
0	46,88980263	62,0898	0,855949	49,042262	40,957738	44,38473	423,7119
50	40,60273973	55,20274	0,826434	47,351205	42,648795	41,09082	374,8913
100	34,94758065	48,89758	0,796209	45,619422	44,380578	37,87544	328,4049
150	29,51384615	42,51385	0,767332	43,964876	46,035124	34,15837	274,5397
200	24,9731405	37,07314	0,739093	42,346934	47,653066	30,83384	229,4215
250	24,83818408	34,88818	0,792252	45,392723	44,607277	27,16198	169,5483
300	17,40990099	27,5099	0,685241	39,261405	50,738595	24,36155	149,6763
350	14,00909091	22,80909	0,661358	37,893009	52,106991	20,74347	110,4879
400	7,87654321	15,97654	0,515542	29,538397	60,461603	16,85931	79,93476
450	5,782857143	12,78286	0,469445	26,89723	63,10277	14,07841	57,01887
500	3,772058824	7,172059	0,553818	31,731416	58,268584	7,293831	14,65111

Berekening massatraagheidsmoment



Er worden twee vergelijkingen gebruikt omdat vanaf de lengte 200mm het oppervlakte van de doorsnede sterker daalt. Met dit als gevolg dat de richtingscoëfficiënt niet gelijk is.

Volume 1, 2:

Vergelijking A₁:

$$y = ax + b$$

$$x = 0 \rightarrow b = 733,14$$

$$x = 200 \rightarrow y = 410$$

$$410 = a \times 200 + 733,14$$

$$a = \frac{410 - 733,14}{200} = -1,8$$

$$A = -1,8l + 733,14$$

$$dV = A \times dl$$

$$V_1 = \int_0^{200} (-1,8l + 733,14) dl$$

$$= \left[\frac{-1,8l^2}{2} + 733,14l \right]_0^{200}$$

$$= \frac{-1,8 \times 200^2}{2} + 733,14 \times 200$$

$$= 114000 \text{ mm}^3 = 114 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Vergelijking A₂:

$$y = ax + b$$

$$x = 200 \rightarrow y = 410$$

$$x = 500 \rightarrow y = 25$$

$$\begin{cases} 200 \times a + b = 410 & | 1 \\ 500 \times a + b = 25 & | -1 \end{cases}$$

$$-300 \times a = 410 - 25 \rightarrow a = -1,28$$

$$b = 410 - 200 \times (-1,28) = 666$$

$$A = -1,28l + 666$$

$$V_2 = \int_{200}^{500} (-1,28l + 666) dl$$

$$= \left[\frac{-1,28l^2}{2} + 666l \right]_{200}^{500}$$

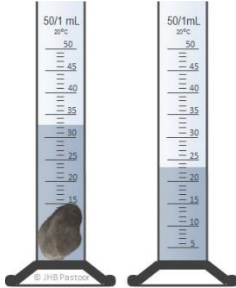
$$= (-0,642 \times 500^2 + 666 \times 500)$$

$$-(-0,642 \times 200^2 + 666 \times 200)$$

$$= 64980 \text{ mm}^3 = 64,98 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Volume 3:

Omdat het beginstuk waar de wijk start en het eindstuk niet dezelfde vorm heeft als de de rest van de wijk, moeten we dus om het volume te weten een meting doen.



De wet van Archimedes zegt dat als je een voorwerp onderdompelt in een vloeistof. Dat het afgelezen eindvolume min het afgelezen beginvolume het volume van dit voorwerp representeert.

Hiervoor komen we uit:

$$V_3 = 42ml + 1 ml = 43ml$$

$$V_3 = 43 \times 10^{-6}m^3$$

Totaal volume:

$$V_{tot} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_{tot} = (114 + 64,89 + 43) \times 10^{-6}$$

$$V_{tot} = 224 \times 10^{-6}m^3$$

Massadichtheid:

Gemeten massa: $m = 163g = 0,163kg$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{m}{V} = \frac{0,163}{224 \times 10^{-6}} \\ &= 727,7 \frac{kg}{m^3}\end{aligned}$$

Berekening massatraagheidsmoment

$$J = a^2 + m$$

$$J = (l_0 + l)^2 + \rho * V$$

$$V = \int A dl$$

$$J_1 = \int_0^{200} \rho * (l_0 + l)^2 (-1,8l + 733,14) dl$$

$$= \rho \int_0^{200} (l_0^2 + 2l_0l + l^2) (-1,8l + 733,14) dl$$

$$= \rho \int_0^{200} (-1,8l_0 l^2 + 733,14l_0^2 - 2 * 1,8l_0 l_0^2 + 2 * 733,14l_0 l - 1,8l^3 + 733,14l^2) dl$$

$$\begin{aligned} I_1 &= -1,8l_0^2 \int_0^{200} l dl \\ &= -1,8 * 125^2 \left[\frac{l^2}{2} \right]_0^{200} \\ &= -28,125 * 10^3 \left[\frac{200^2}{2} - 0 \right] \\ &= -562,5 * 10^6 mm^5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= 733,14l_0^2 \int_0^{200} dl \\ &= 733,14 * 125^2 [l]_0^{200} \\ &= 11,46 * 10^6 [200] \\ &= 2,29 * 10^9 mm^5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_3 &= -2 * 1,8l_0 \int_0^{200} l^2 dl \\ &= -2 * 1,8 * 125 \left[\frac{l^3}{3} \right]_0^{200} \\ &= -450 \left[\frac{200^3}{3} - 0 \right] \\ &= -1,2 * 10^9 mm^5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_4 &= 2 * 733,14l_0 \int_0^{200} l dl \\ &= 2 * 744,14 * 125 \left[\frac{l^2}{2} \right]_0^{200} \\ &= 183,29 * 10^3 \left[\frac{200^2}{2} - 0 \right] \\ &= 3,666 * 10^9 mm^5 \end{aligned}$$

$$I_5 = -1,8 \int_0^{200} l^3 dl$$

$$= -1,8 \left[\frac{l^4}{4} \right]_0^{200}$$

$$= -1,8 \left[\frac{200^4}{4} - 0 \right]$$

$$= 720 * 10^6 mm^5$$

$$I_6 = 733,14 \int_0^{200} l^2 dl$$

$$= 733,14 \left[\frac{l^3}{3} \right]_0^{200}$$

$$= 733,14 \left[\frac{200^3}{3} - 0 \right]$$

$$= 1,955 * 10^9 mm^5$$

$$I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$= 5,429 * 10^9 mm^5$$

$$J_1 = \rho * I_{tot}$$

$$= 727,7 * 5,429 * 10^9 mm^5$$

$$= 3,969 * 10^{-3} kgm^2$$

$$J_2 = \int_{200}^{500} \rho * (l_0 + l)^2 (-1,28l + 666) dl$$

$$= \rho \int_{200}^{500} (l_0^2 + 2l_0l + l^2) (-1,28l + 666) dl$$

$$= \rho \int_{200}^{500} (-1,28l_0l^2 + 666l_0^2 - 2 * 1,28l_0l_0^2 + 2 * 666l_0l - 1,28l^3 + 666l^2) dl$$

$$I_1 = -1,28l_0^2 \int_{200}^{500} l dl$$

$$= -1,28 * 125^2 \left[\frac{l^2}{2} \right]_{200}^{500}$$

$$= -20 * 10^3 \left[\frac{500^2}{2} - \frac{200^2}{2} \right]$$

$$= -2,1 * 10^9 mm^5$$

$$\begin{aligned}
 I_2 &= 666l_0^2 \int_{200}^{500} dl \\
 &= 666 * 125^2 [l]_{200}^{500} \\
 &= 10,406 * 10^6 [500 - 200] \\
 &= 3,122 * 10^9 mm^5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_3 &= -2 * 1,28l_0 \int_{200}^{500} l^2 dl \\
 &= -2 * 1,28 * 125 \left[\frac{l^3}{3} \right]_{200}^{500} \\
 &= -320 \left[\frac{500^3}{3} - \frac{200^3}{3} \right] \\
 &= -12,48 * 10^9 mm^5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_4 &= 2 * 666l_0 \int_{200}^{500} l dl \\
 &= 2 * 666 * 125 \left[\frac{l^2}{2} \right]_{200}^{500} \\
 &= 166,5 * 10^3 \left[\frac{500^2}{2} - \frac{200^2}{2} \right] \\
 &= 17,483 * 10^9 mm^5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_5 &= -1,28 \int_{200}^{500} l^3 dl \\
 &= -1,28 \left[\frac{l^4}{4} \right]_{200}^{500} \\
 &= -1,28 \left[\frac{500^4}{4} - \frac{200^4}{4} \right] \\
 &= -19,488 * 10^9 mm^5
 \end{aligned}$$

$$I_6 = 666 \int_{200}^{500} l^2 dl$$

$$\begin{aligned}
&= 666 \left[\frac{l^3}{3} \right]_{200}^{500} \\
&= 666 \left[\frac{500^3}{3} - \frac{200^3}{3} \right] \\
&= 25,974 * 10^9 \text{mm}^5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{tot} &= I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6 \\
&= 12,510 * 10^9 \text{mm}^5
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_2 &= \rho * I_{tot} \\
&= 727,7 * 12,510 * 10^9 \text{mm}^5 \\
&= 9,145 * 10^{-3} \text{kgm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_{einde} &= a^2 * m \\
&= a^2 * V * \rho \\
&= 627,5^2 * 1 * 727,7 \\
&= 287 * 10^{-6} \text{kgm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J_{begin} &= a^2 * m \\
&= a^2 * V * \rho \\
&= 125^2 * 43 * 727,7 \\
&= 491 * 10^{-6} \text{kgm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
J &= J_1 + J_2 + J_{begin} + J_{einde} \\
&= (3,969 + 9,145 + 0,287 + 0,491) * 10^{-3} \text{kgm}^2 \\
&= 13,89 * 10^{-3} \text{kgm}^2
\end{aligned}$$

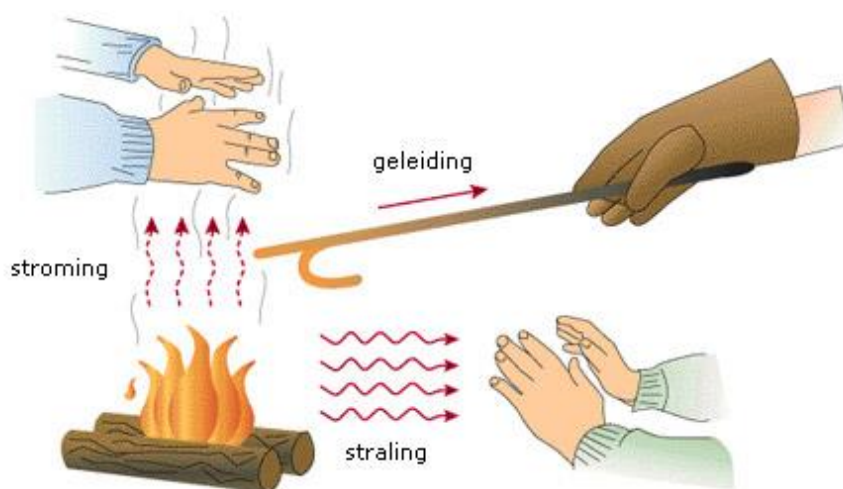
5. Wetenschappelijke studie

5.1. Warmte

Warmte is een vorm van energie die overgedragen wordt van één voorwerp naar een ander voorwerp omwille van een temperatuurverschil. Deze verplaatsing gebeurt spontaan aangezien plaatsen en voorwerpen in thermisch evenwicht willen zijn met elkaar.

Drie soorten van warmteoverdracht kunnen onderscheiden worden:

- conductie of geleiding;
- convectie of stroming;
- straling.



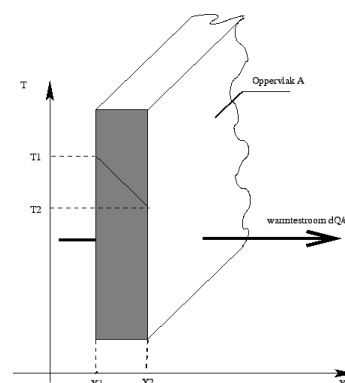
5.2. Soorten warmtetransmissie

5.2.1. conductie of geleiding

Bij geleiding of conductie gebeurt het energietransport niet door de verplaatsing van de materie, maar door botsingen van moleculen. Daardoor wordt dit beschouwd als moleculaire overdracht van energie. Voordat dit gebeurt, moet er eerst een temperatuurverschil zijn. Conductie treedt meestal op bij 2 vaste media die elkaar raken. In het object met de hogere temperatuur gaan de deeltjes sneller bewegen. Die deeltjes botsen dan met de trager bewegende deeltjes. Door die botsingen wordt er kinetische energie overgedragen aan de trager bewegende deeltjes, dit gaat door tot de energie van beide objecten even groot is en dus de temperatuur gelijk.

De volgende factoren hebben een invloed op de geleiding:

- dikte van het object d ;
- temperatuurverschil ΔT ;
- warmtegeleidingscoëfficiënt λ ;
- oppervlakte doorsnede A .



De hoeveelheid warmte die wordt overgedragen door geleiding kan bepaald worden via de volgende formule:

$$Q = \frac{\lambda \times A \times \Delta T}{d}$$

Geleiding speelt bij onze opstelling een rol bij:

- de vloerverwarming: van het koper naar onze vloer;
- koudebruggen: een koude brug is eigenlijk geleiding tussen een deel van binnen en buiten.

5.2.2. convectie of stroming

In het geval van stroming of convectie gebeurt het warmtetransport door de verplaatsing van massa van één plaats naar een andere. Dit is de reden waarom stroming of convectie enkel kan optreden in gassen of vloeistoffen. Er ontstaat namelijk een verschil in dichtheid doordat een deel van het gas of vloeistof een hogere temperatuur heeft dan het andere. Hierdoor wordt er van plaats gewisseld.

Stroming of convectie wordt beïnvloed door de volgende factoren:

- gaseigenschappen (C_p , dichtheid, viscositeit);
- spouwruimte: dikte (d) en oppervlakte (A);
- warmteoverdrachtscoëfficiënt h ;
- temperatuursverschil (ΔT);
- stroomsnelheid van het medium.

De hoeveelheid warmte die bij stroming ontstaat, is te bepalen met de volgende wet:

$$Q = h \times \Delta T \times A$$

Er zijn twee soorten stromingen:

- gedwongen convectie of geforceerde convectie: de stroming van het medium wordt veroorzaakt door bv. een ventilator of een pomp;
- vrije convectie of natuurlijke convectie: de stroming van het medium wordt veroorzaakt door bv. een verandering in de dichtheid van het medium (door warmte); het gas of de vloeistof beweegt zonder externe bron.

Voorbeelden van vrije convectie:

- door het dalen van de massadichtheid van de vloeistof (door het stijgen van de temperatuur), bv. in een cv-radiator;
- door de zwaartekracht (koudere lucht is zwaarder dan warme lucht dus rond een koude fles ontstaat een luchtstroom naar beneden).

Bij ons project hebben we vooral gedwongen convectie. Zo hebben we 2 watercircuits die circuleren door pompen en in onze huizen hebben we ventilatoren.

5.3. Opwarming van het huis

5.3.1. Inleiding

Om ons water te laten circuleren maken we gebruik van een circulatiepomp. Deze pomp wordt gebruikt in centrale verwarmings- of koelsystemen. Het is een centrifugaalpomp die zorgt voor het transport van het warmtedragende medium door de installatie. Zelf gebruiken wij 2 circulatiepompen om het water in de twee verschillende circuits te laten rondstromen.

We willen graag weten met welke snelheid het water moet lopen in de buizen zodat het huis het snelst opwarmt. Daarvoor zijn er eerst een aantal metingen nodig. De eerste proefopstelling is het debiet meten van onze pomp. Naarmate we de spanning zullen verhogen, zal ons debiet mee stijgen.



Een debietmeter is een meetinstrument waarmee men in een gesloten circuit de hoeveelheid vloeistof per tijdseenheid kan meten. Op de foto zie je een debietmeter. Zoals je ziet, is dat met een rotor. Het water komt in de rotor terecht als het water 1 toer heeft gedraaid, dan geeft het een tik die we kunnen weergeven in onze arduino. We laten 5 liter door onze pomp lopen en in een programma gaf de arduino 2869 tikken weer. Als we nu een kleine berekening doen, hebben we een debiet van 1,74 ml per tik. Deze waarde gaan we later nodig hebben voor het berekenen van onze warmtetransmissie in ons systeem.

5.3.2. Proef: debiet

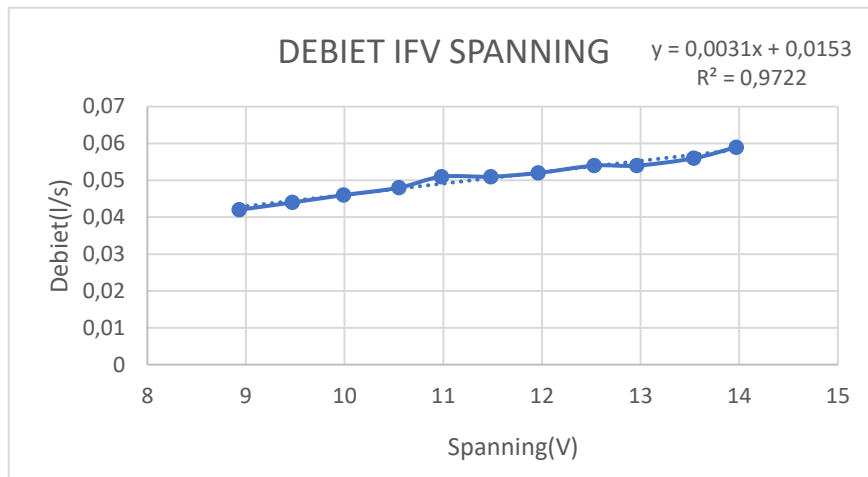
Proefopstelling



We willen ook graag een verband opstellen dat het debiet weergeeft in functie van de spanning. Onze pomp werkt bij een spanning tussen de 9 V en 14,4 V. We hebben op 11 verschillende spanningen een meting gedaan met een volume van een halve liter. Aan de hand van een timer konden we zien hoe snel 0,5 liter werd weggepompt. We deden bij iedere spanning 3 metingen, daarvan namen we het gemiddelde en dat getal werd gedeeld door 0,5 l zo kregen we ons debiet in l/s.

Gemeten waarden

Spanning(V)	8,93	9,47	9,99	10,55	10,98	11,48	11,96	12,53	12,96	13,54	13,97
Debiet(l/s)	0,042	0,044	0,046	0,048	0,051	0,051	0,52	0,54	0,54	0,56	0,59



Waarneming

Nadat we alle waarden op de grafiek gezet hadden, kregen we een lineaire functie.

De formule die we verkrijgen via lineaire regressie voor het debiet in functie van de spanning is $y = 0,0031x + 0,0153$. De waarde $R^2 = 0,9722$ geeft weer hoe goed onze meetpunten bij een lineaire functie liggen. Dit getal moet zo dicht mogelijk bij 0,99 liggen. Dus we kunnen zeggen dat onze metingen goed gelukt zijn.

Besluit

Als we de spanning verhogen, dan wordt ons debiet ook verhoogd. Dit is ook normaal, als je de pomp sneller doet draaien, zal er meer vloeistof per seconde doorgaan, dus stijgt ons debiet.

5.3.3. Proef: spanning voor optimale opwarming van huis/vat

Inleiding

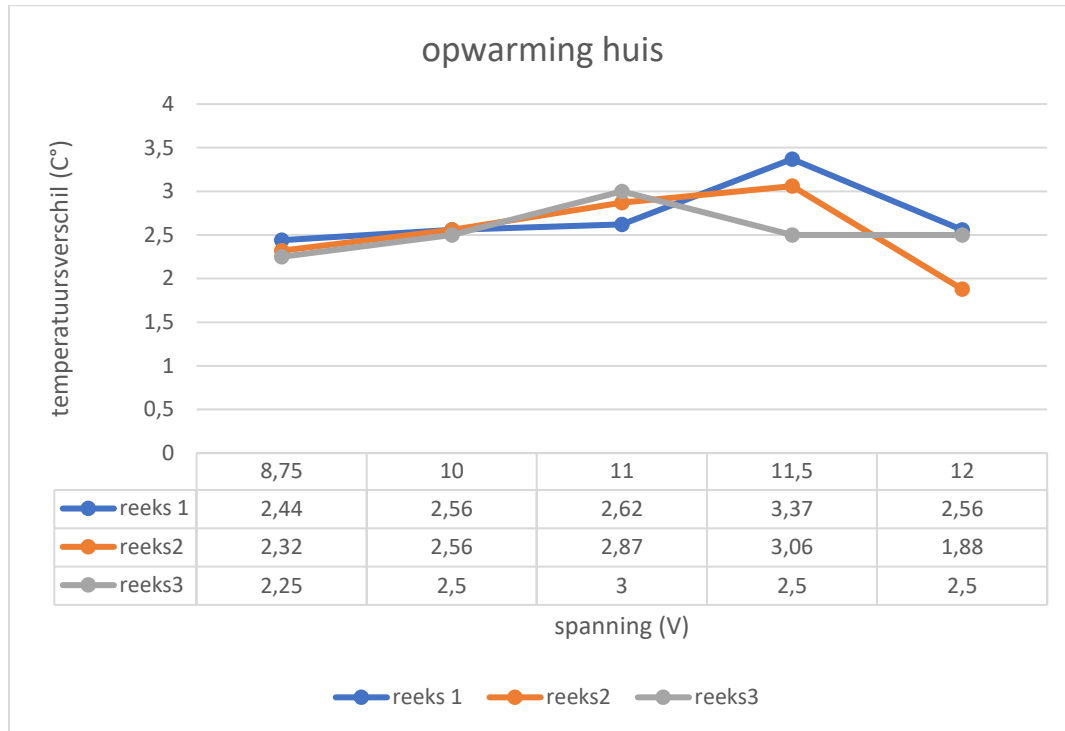
We zoeken een spanning waarbij ons huis het snelst opwarmt. Als we onze pompjes aansluiten op 9 V, zal het water waarschijnlijk te traag lopen en zal ons huis niet maximaal opwarmen. Stel dat we onze pompjes op 14 V aansluiten, zal dit water te snel lopen om een goede warmte-uitwisseling te bekomen. We zullen dus een soort bergparabool krijgen met als maximum de ideale spanning. Er zijn wel 2 verschillende circuits, dus we zullen ook 2 verschillende spanningen hebben waarop onze pompjes ideaal zullen draaien.

5.3.4. Proef: warmteoverdracht van zonneboilervat naar huis

Proefopstelling

In het open circuit dat van het vat naar het huis loopt, hebben we telkens een emmer met 70°C gevuld en telkens water afgetapt naar het huis met een begintemperatuur van 25°C. We lieten de proef 15 min lopen en bekeken bij iedere spanning hoeveel de temperatuur is gestegen.

Gemeten waarden



Waarneming

We hebben 3 verschillende kamers in ons huis met telkens een temperatuursensor. We meten op een kwartier tijd bij welke spanning (9V-14V) ons temperatuurverschil het grootst is. Na enkele metingen bleek de meest ideale spanning tussen 11 en 11,5 V te liggen.

Besluit

We laten de pomp op 11,5 V draaien en berekenen daarbij het debiet. Deze waarde zullen we nodig hebben in ons programma.

Voor de waarde van ons debiet hebben we de waarde nodig die we in een vorige proef besproken hebben namelijk die 1,74 ml/tik.

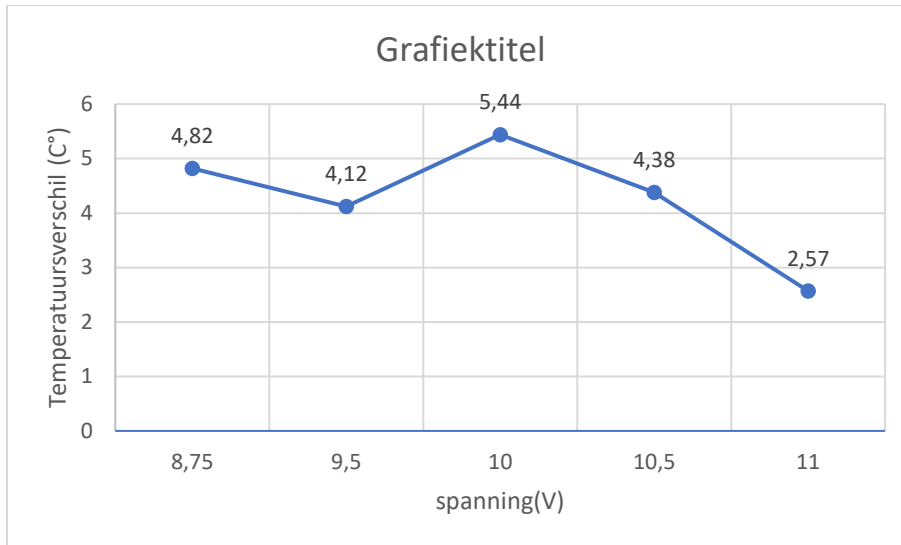
De berekening gaat als volgt: bij een spanning van 11,5 V hebben we een waarde van 66 tikken per seconde. Als we die $66 \times 1,74$ doen, dan bekomen we een debiet van 114,84 ml/s.

5.3.5. Proef: warmteoverdracht van zonnecollector naar zonneboiler

Proefopstelling

In het gesloten circuit van de collector naar het zonneboilervat lieten we het water opwarmen naar 30 graden in het vat, dan pas begon onze meting. Door het blijven actief zijn van onze zonnecollector bleef het water opwarmen. Dit gebeurde bij iedere spanning (8,75V-11V) en deden iedere proef 900 seconden daarna bekeken bij welke spanning het water het snelst opwarmt.

Gemeten waarden



Waarneming

We stelden al snel vast dat 10 V ideaal zou zijn omdat het temperatuurverschil hoger lag dan bij 8,75 V en 11 V. Voor de zekerheid hebben we toch nog eens 9,5 V en 10,5 V uitgemeten, maar het temperatuurverschil was ook dan lager.

Besluit

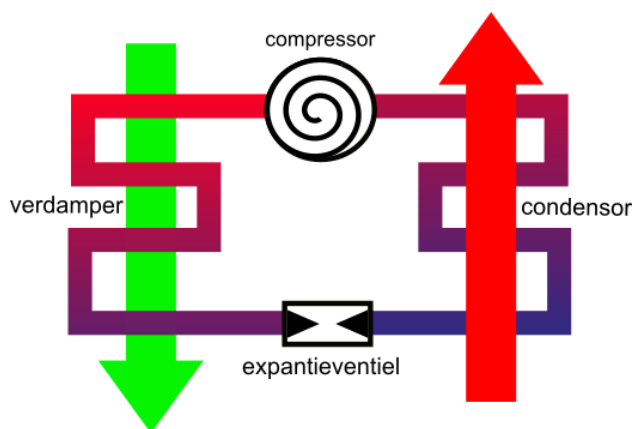
We laten de pomp op 10 V draaien en berekenen daarvan het debiet. Deze waarde zullen we nodig hebben in ons programma.

Voor de waarde van ons debiet hebben we de waarde nodig die we in een vorige proef besproken hebben namelijk die 1,74 ml/tik.

De berekening gaat als volgt: bij een spanning van 10 V hebben we een waarde van 27 tikken per seconde. Stel dat we die $27 \times 1,74$ doen, dan hebben we een debiet van 46,98 ml/s.

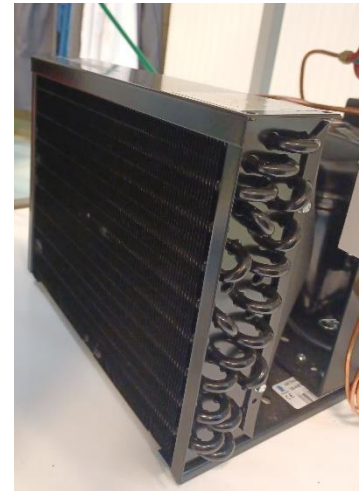
5.4. Koeling

5.4.1. Onderdelen en begrippen koelinstallatie



Een koelsysteem is kortweg op te delen in vier onderdelen: de condensor, de compressor, de verdamper en het expansieventiel. Deze worden doorlopen door het koelmiddel in de hierboven opgesomde volgorde, op onderstaande figuur kun je dat ook zien. Hierna lichten we het proces in elk onderdeel toe.

- Condensor: de functie hiervan is om de warmte die onttrokken wordt uit de koelkast en de geproduceerde warmte van het systeem zelf af te geven aan de omgeving. Dit is dan ook de reden dat deze is opgesteld aan de buitenkant van het systeem zelf. Het is van groot belang dat deze niet afgedekt wordt om oververhitting met slechte werking van het koelsysteem tot gevolg te voorkomen. Ook kan voor een betere werking worden gezorgd door een extra ventilatie van dit onderdeel, zodat de warme lucht onmiddellijk wordt afgevoerd.



In onze koelgroep: helemaal links onderaan en verlucht door een ventilator

- Compressor: de compressor zorgt voor de samendrukking van het koelgas. Deze compressie is nodig om zo het gas te doen overgaan naar vloeibare fase en omdat het gas veel eerder condenseert onder hoge druk dan onder lage druk. Resterende vloeistofdeeltjes mogen nooit aan de lagedruk zijde van de compressor binnenkomen.



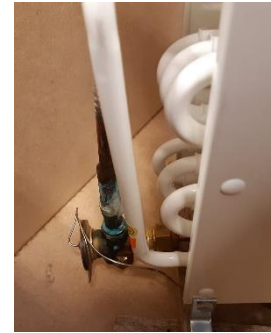
In onze koelgroep: naast de condensor onderaan

- Verdampers: dit onderdeel in samenwerking met de ventilatoren zorgt voor de goede verspreiding van de warmte die wordt onttrokken binnen het systeem. Dit is dan ook (samen met het expansieventiel) het enige onderdeel dat zich in ons koelhuis bevindt.

In onze koelgroep: in de koelruimte en verlucht met 2 ventilatoren erboven



- Expansieventiel: dit onderdeel is temperatuurafhankelijk en mag niet tegen de verdamper hangen. Dit onderdeel zorgt er ook voor dat er een bepaalde hoeveelheid gas per tijdseenheid overgaat naar de verdamper van het systeem. Door dit ventiel wordt de druk dus geregeld in het systeem, zo krijgt het gas de kans om uit te zetten. Tijdens het solderen van de leidingen moet dit ventiel worden gewikkeld in natte doekjes om te voorkomen dat het te warm wordt, dit onderdeel zou namelijk stuk gaan ten gevolge van de warmte.

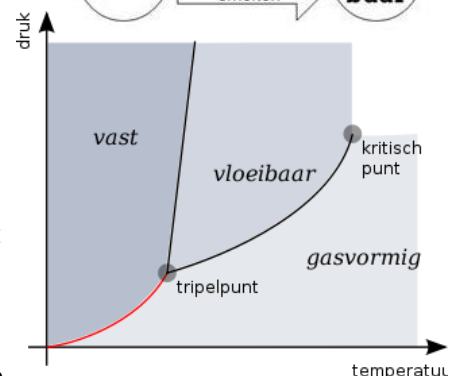


In onze koelgroep: onder de verdamper

5.4.2. Fysische begrippen bij een koelsysteem

Bij een koelsysteem horen natuurlijk enkele fysische begrippen. Om de teksten die in dit GIP-dossier worden opgenomen te verduidelijken worden de meest voorkomende fysische begrippen hier uitgelegd. Op deze manier verloopt het lezen van dit GIP-dossier vlotter.

Eerst en vooral zullen we het hebben over de verschillende aggregatietoestanden die een stof kan aannemen, we zullen de twee toestanden die voorkomen in ons systeem uitvoerig bespreken: gassen en vloeistoffen. Op de bovenste foto hiernaast kan je zien welke toestanden er bestaan en hoe je van de ene toestand naar de andere kunt overgaan. Op de afbeelding eronder kan je zien waar ze zich dan in het PV-diagram bevinden. Op die afbeelding staan ook het tripelpunt en het kritisch punt. Het tripelpunt is het punt waar de drie toestanden van een stof voorkomen. Dat is bij 273,16 K en 611,73 Pa. Het kritisch punt is het punt dat aanduidt tot waar een stof in twee duidelijk verschillende toestanden kan voorkomen, na dit punt kan je een vloeistof en gas tezamen tegenkomen.



In een gas hebben de moleculen van een stof zoveel warmte opgenomen dat ze los van elkaar gaan bewegen en zich verspreiden in de ruimte die ze tot hun beschikking hebben. In dit opzicht onderscheiden gassen zich van vloeistoffen en vaste stoffen, waarbij de deeltjes veel dichter op elkaar zitten. Een gas in evenwichtstoestand heeft overal gelijke druk, dichtheid en temperatuur. Elke stof kan in principe in de gastoestand voorkomen, indien die voldoende verwarmd wordt of onder voldoende lage druk staat en de moleculen niet uit elkaar vallen door de eventueel toegevoerde warmte. Zo kunnen ook stoffen die normaliter niet in gastoestand voorkomen toch onder specifieke omstandigheden als gas bestaan, bijvoorbeeld goud, ijzer... .

Een vloeistof is een stof die gemakkelijk vormveranderingen ondergaat, maar weinig samendrukbaar is. Vloeistoffen onderscheiden zich van vaste stoffen, die hun vorm behouden en ook gassen en plasma's, die samendrukbaar zijn. Op microniveau bestaat een vloeistof uit deeltjes die voortdurend in een willekeurige beweging zijn, maar slechts een vrije weglengte hebben in de orde grootte van de diameter van de deeltjes. De dichtheid van een vloeistof is vergelijkbaar met die van een vaste stof. Om deze reden worden vloeibare en vaste stoffen gecondenseerde materie genoemd. Anderzijds hebben zowel vloeistoffen als gassen het vermogen om te vloeien. Ze

worden hierom fluida genoemd. Ondanks dat vloeibaar water overvloedig aanwezig is op aarde, is het de zeldzaamste aggregatietoestand in het universum.

Hierna zullen we het hebben over de verschillende toestandsovergangen die in ons systeem voorkomen, op de afbeelding vind je een PV-diagram terug. Daarop zijn de toestandsovergangen terug te vinden.

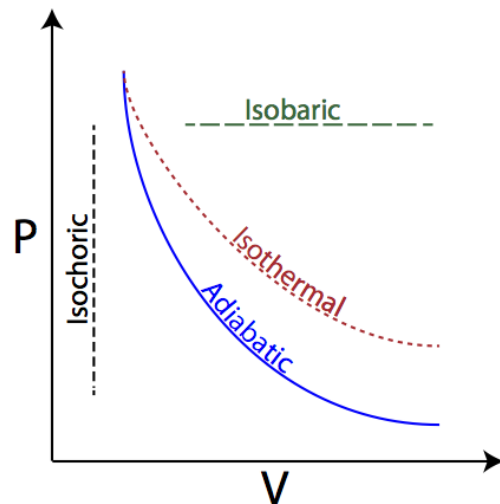
- Adiabaat / isentroop: een adiabaat is een toestandsovergang waarbij geen warmte wordt afgevoerd, maar ook niet wordt toegevoerd. De reversibele adiabaat wordt ook wel een isentroop genoemd.

- Isobaar: een isobaar proces is een toestandsovergang van een bepaalde hoeveelheid materie waarbij de druk niet verandert, maar een of meer andere grootheden wel. Een voorbeeld hiervan is lucht in een cilinder met een vrij beweegbare zuiger waar warmte aan toegevoerd wordt. Door de temperatuurstijging zal het volume toenemen, maar de druk niet.

- Isochoor: een isochoor is een toestandsovergang waarbij het volume constant blijft en enkel de resterende grootheden veranderingen ondergaan.

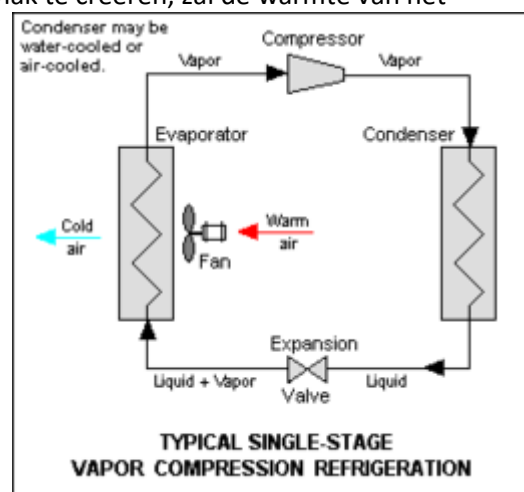
- Isotherm: een isotherm is een toestandsovergang waarbij de temperatuur constant blijft.

- Kringproces: een kringproces is een proces in een thermodynamisch systeem waarbij een medium een reeks van toestandsovergangen doorgaat, zodanig dat de eindtoestand van het medium gelijk is aan de begintoestand.



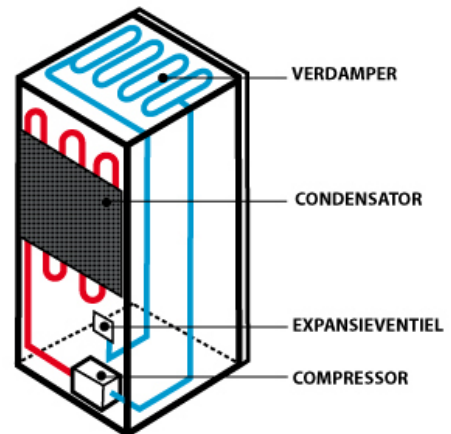
5.4.3. Koelproces

De eerste stap van het koelproces gebeurt door de compressor: deze drukt het gas samen. Hierdoor stijgt de druk en ook de temperatuur van het gas. Via de condensor, een lang buizenstelsel in nauw contact met koelvinnen om een maximaal contactoppervlak te creëren, zal de warmte van het koelgas worden afgevoerd. Hierdoor zal het gas condenseren en terug vloeibaar worden. De condensatiewarmte, die hierbij vrijkomt, wordt afgegeven aan de omgeving. De koelvloeistof krijgt vervolgens een drukval ter hoogte van het capillair dat dus als expansieventiel dienst doet. Vervolgens wordt de koelvloeistof de verdampers ingespoten. De vloeistof onttrekt de warmte van de levensmiddelen en de lucht in de koelkast waardoor hij verdampt. Hierna wordt hij opnieuw samengeperst door de compressor, waarbij het hele proces opnieuw begint. Op deze manier zal de temperatuur in de koelkast dalen.

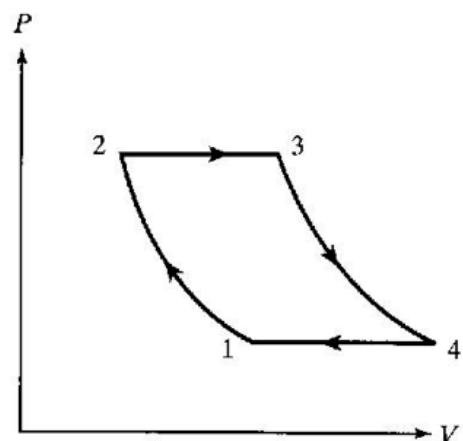


Een koelkast zal om optimaal te kunnen werken behoorlijk wat warmte moeten kunnen afstaan aan de omgeving, namelijk die warmte die hij aan de koelruimte en de levensmiddelen erin heeft onttrokken. Vandaar dat een koelkast steeds voldoende geventileerd dient te worden. Een koelkast mag daarom nooit te dicht bij de muur worden geplaatst. Wanneer een koelkast wordt ingebouwd dient er eveneens speciale aandacht besteed te worden aan de ventilatie. Er dient voor gezorgd te worden dat er voldoende koellucht de condensator kan bereiken en dat de afgevoerde warme lucht in de keuken terecht kan komen. Vandaar dat er in de plint van het keukenmeubel een rooster wordt voorzien voor de toevoer van verse koellucht. Er dient een luchtkanaal voorhanden te zijn zodat deze lucht de condensator kan bereiken en bovenaan dient eveneens een ventilatie-rooster voorzien te worden voor de afvoer van de warme lucht.

Bij een vrijstaande koelkast is dit standaard in het toestel zelf voorzien. Bij onvoldoende ventilatie zal de koelkast niet naar behoren functioneren en zal ze bovendien teveel energie verbruiken. Het gehele proces kan beschouwd worden als een gesloten negatief kringproces, waarin je energie stopt en in ons geval verkoeling verkrijgt. Meer specifiek: het is een omgekeerd (daardoor negatief) Brayton-proces.



De eerste stap in het proces (van 4 naar 1) is de verdamper die warmte onttrekt aan de koelkamer. Dit is een omkeerbaar, isobaar proces. De tweede stap (van 1 naar 2) bestaat uit de compressor die het gas samendrukt, dit is een adiabatisch proces, wat wil zeggen dat er geen warmte toe- of afgevoerd wordt. Daarna komt de derde stap (van 2 naar 3) waarin de condensor voorkomt, deze geeft de condensatiewarmte af aan de omgeving. Dit is een isobaar proces. Als laatste vierde stap (van 3 naar 4) hebben we het expansieventiel dat het gas expandeert naar een lagere druk. Dit is een adiabatisch proces. Hierboven werd dus het ideale proces besproken, namelijk het negatief Brayton-proces.



Dit negatief kringproces heeft ook een soort rendement, namelijk de koudefactor ϵ . Deze wordt beschreven aan de hand van de volgende formule

$$\epsilon = \frac{\text{onttrokken warmte}}{\text{toegevoegde warmte}}$$

De waarde die wordt bekomen bij het toepassen van deze formule zal altijd groter zijn dan in werkelijkheid en dit komt omdat niet aan alle theoretische eisen, waarop deze formule gebaseerd is, kan voldaan worden, zoals de eis van een isotherme overgang. In zo'n korte tijd kan een gas niet expanderen of samendrukken zonder dat de temperatuur verandert. Het rendement of de koelfactor van het koelsysteem zal dus in de werkelijkheid wel een pak lager liggen.

5.4.4. Berekenen koelvermogen

We berekenen het benodigde koelvermogen om de koelbox te koelen.

Deze berekening heeft ons een redelijk exacte waarde omdat er niet veel beweging in de ruimte is. De berekening houdt in dat je eerst de inhoud bepaalt en daarna vermenigvuldigt je volgens een welgekende vuistregel met een vermenigvuldigingsfactor van 30, 40 of 50.

Factor 30: dit zijn ruimtes die goed geïsoleerd zijn en die een normaal glasoppervlakte, geen plat dak of schuin dak en weinig elektronische apparatuur hebben.

Factor 40: deze ruimtes zijn minder goed geïsoleerd, hebben bijvoorbeeld een groot glasoppervlakte en/of er staan veel elektrische apparaten.

Factor 50: Deze ruimtes hebben een zeer hoge warmtelast of er worden producten bewaard zoals levensmiddelen en medicijnen, waarvoor een lage ruimtetemperatuur gewenst is.

Wij gaan uit van factor 30:

Inhoud: $0,480\text{m} \times 0,480\text{m} \times 0,480\text{m} = 0.111\text{m}^3$

Benodigd koelvermogen: $0.111\text{m}^3 \times 30 = 3,33\text{W}$

5.4.5. Metingen toestandsgrootheden met volledige ventilatie

Het pv-diagram van het kringproces bij deze soort koeling is in deze vorm. Dit proces werd al extra uitgelegd in het deel 'koelproces'. Als je kijkt naar de druk op onze barometers voor en na de compressor, dan kun je volgende gegevens aflezen:

1. druk na compressor -> 6,8 bar (P2,P3);
2. druk voor compressor-> 2,1 bar (P1,P4);
3. het is 5 °C in het huis met koeling.

De toestandsvergangen:

1 ->2 en 3->4 adiabaat

2 ->3 en 4->1 isobaar

Dit kringproces wordt dus telkens doorlopen tijdens het koelen. Als het huis op de gewenste temperatuur is, zal de dixell zelf de koeling afleggen. Op de dixell kun je instellen om de hoeveel



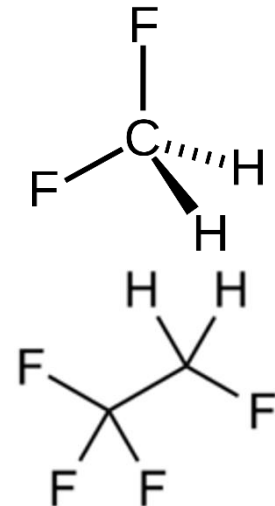
minuten de temperatuur opnieuw wordt gecontroleerd. Dit heet de anti-pendelbescherming.

Op een andere instelling kan je het gewenste temperatuurverschil instellen voor hij terug mag beginnen koelen. Dus hij zal niet herhaaldelijk in- en uitschakelen van zodra de koelbox niet meer op de gewenste temperatuur is. Dit is goed want anders blijft de koelgroep constant schakelen. Door de anti-pendelbeveiliging, zal er minder verbruik door koelgroep zijn.

5.5. Koelmiddel (cfk's)

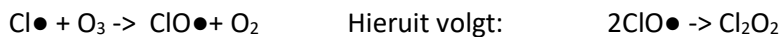
Chloorfluorkoolwaterstoffen (cfk's) en (hcfk's) zijn geheel of gedeeltelijk gehalogeneerde paraffine-koolwaterstoffen die alleen koolstof (C), waterstof (H), chloor (Cl) en fluor (F) bevatten en die worden geproduceerd als vluchtig derivaat van methaan, ethaan en propaan. Zij zijn ook algemeen bekend onder de merknaam Freon.

De meest voorkomende vertegenwoordiger is dichloordifluormethaan. Veel cfk's zijn op grote schaal gebruikt als koelmiddel, drijfgas en oplosmiddel. Omdat cfk's bijdragen tot de aantasting van de ozonlaag in de bovenste atmosfeer, wordt de productie van dergelijke verbindingen geleidelijk stopgezet en worden zij vervangen door andere producten zoals fluorkoolwaterstoffen (hfk's), waaronder R-410A (afbeelding bovenaan) en R-134a (afbeelding onderaan).



5.5.1. Schadelijk voor de ozonlaag

De chlooratomen in cfk's kunnen dienen als katalysator voor de afbraak van de ozon in de beschermende ozonlaag tot zuurstof. Dus daardoor ontstaat het ozongat.



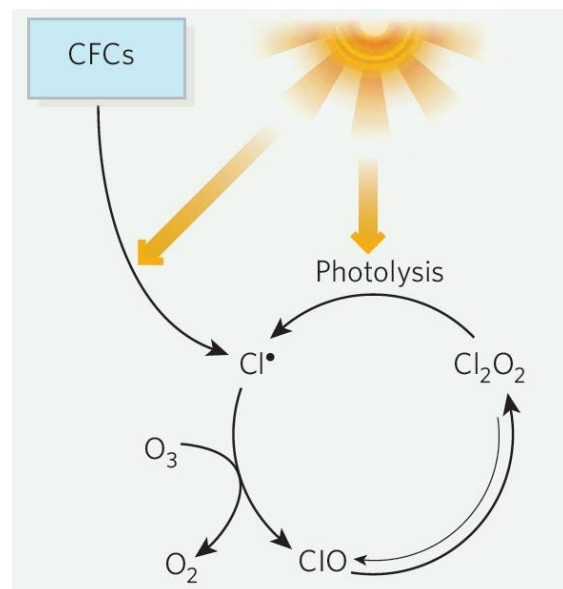
Vervolgens zorgt de uv-straling ervoor dat chloorperoxide weer uiteenvalt in vrije radicalen (een proces dat fotolyse genoemd wordt):



Om de ozonlaag te beschermen ontwikkelde de industrie alternatieven.

-Hcfk's tasten de ozonlaag minder aan omdat een deel van de waterstofatomen niet vervangen wordt door chloor.

-Hfk's tasten de ozonlaag niet aan. Het nadeel hier is dat hfk's wel bijdragen aan het broeikas effect.



5.5.2. Toepassingen van cfk's

Naast de toepassingen in koel-, vries- en airconditioninginstallaties als koelmiddel wordt dit ook toegepast in schuimen, blusmiddelen, drijfgassen en reinigings-, oplos- en isolatiemiddelen. In PUR-schuim komen cfk's voor als blaasmiddel.

Op het *Montreal Protocol* is er een maximaal toegestane uitstoot van cfk's geregeld en dit met als eindstreven een absoluut verbod.

5.5.3. Nummering van cfk's

Volgens een internationale overeenkomst worden koelmiddelen aangeduid met de letter R (zoals in refrigerants), gevolgd door een getal van twee of drie cijfers en, in sommige gevallen, een of twee letters. De aanduiding Rxyz wordt bepaald door de chemische samenstelling van de molecule, zoals hieronder beschreven.

X= geeft het aantal koolstofatomen weer in de chemische formule, min één.

Y en Z = is bij elke soort stof een ander systeem van benaming, in de groep van onverzadigde organische stoffen is dit de molaire massa.

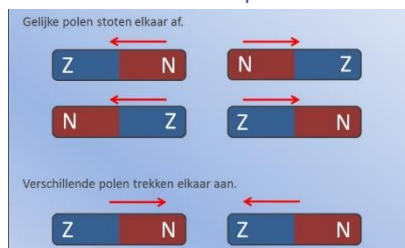
6. Elektrische studie

6.1. Magnetisme

6.1.1. Wat is magnetisme

Magnetisme is de eigenschap van sommige stoffen om andere stoffen (ijzer, nikkel, kobalt...) aan te trekken. De stoffen die die eigenschap bezitten, noemen we magneten. Een magneet is een massief voorwerp met een bestendig, al dan niet permanent, magnetisch veld eromheen. Er bestaan natuurlijke en kunstmatige magneten. Natuurlijke magneten zijn stoffen die van nature al magnetisch zijn, bij kunstmatige magneten worden deze eigenschappen aan een stof gegeven door deze in een magnetisch veld te brengen.

6.1.2. De polen van een magneet

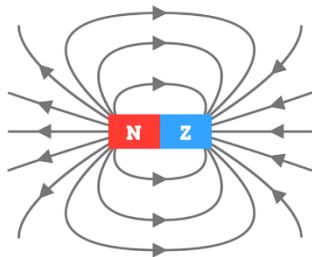


Elke magneet heeft een noord- en een zuidpool, deze hebben dezelfde magnetische eigenschappen. M.a.w. ze bezitten dezelfde hoeveelheid magnetische poolsterkte of magnetische massa. Gelijksnamige polen stoten elkaar af en ongelijksnamige trekken elkaar aan.

6.3. Magnetisch veld

6.3.1. Definitie magnetisch veld

De ruimte waarin de magnetische werking waarneembaar is, noem je het magnetisch veld. Theoretisch is een magnetisch veld oneindig groot. Volgens de wet van Coulomb neemt de krachtwerking af met het kwadraat van de afstand. Daardoor vermindert de krachtwerking heel snel tot verwaarloosbare waarden. Praktisch zeggen we dat het magnetisch veld beperkt is.



Wet van Coulomb

Twee magneetpolen oefenen op elkaar een kracht uit die recht evenredig is met de magnetische massa's en omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tussen hun poolpunten. De middenstof waarin beide polen zich bevinden, speelt ook een belangrijke rol.

6.3.2. Veldsterkte en veldlijnen

De veldsterkte in een punt van een magnetisch veld is de kracht die in dat punt wordt uitgeoefend op de eenheidsnoordpool. De eenheid van magnetische veldsterkte is de newton per weber of de ampère per meter. De veldsterkte is afhankelijk van de plaats, dus is op ieder punt in het magnetisch veld verschillend. Een magnetische veldlijn is een 'ingebeelde' lijn waarvan in elk punt de richting van de raaklijn overeenstemt met de richting van de veldsterkte in dat punt. Deze veldlijnen treden steeds buiten aan de noordpool en binnen aan de zuidpool.

Kenmerkende eigenschappen van veldlijnen:

- veldlijnen vormen een volledig gesloten lijn;
- gelijkgerichte veldlijnen van een magneet stoten elkaar af en kruisen elkaar nooit;
- waar veel veldlijnen zijn, is de veldsterkte groot;
- veldlijnen treden loodrecht in of uit een magneetoppervlakte;
- veldlijnen kiezen de weg van de minste magnetische weerstand (bv. door ijzer i.p.v. door de lucht).

6.3.3. Magnetische flux ϕ en inductie B

Magnetische flux is het totaal aantal veldlijnen die aan de noordpool naar buiten treden, zich verspreiden in de ruimte en aan de zuidpool opnieuw binnentreden. De eenheid is weber (Wb).

Inductie is de verhouding tussen het aantal veldlijnen door de oppervlakte van het ijzer en de ijzeroppervlakte is de fluxdichtheid ofwel magnetische inductie. De eenheid is weber per vierkante meter (Wb/m²) ofwel tesla (T).

$$B = \frac{\phi}{A}$$

$$\mu = \frac{B}{H}$$

$$\mu = \mu_0 * \mu_r$$

μ :	de absolute permeabiliteit van de middenstof. Een scalaire grootte die aangeeft hoe goed de magnetische veldlijnen doorgelaten worden door een bepaald middenstof. M.a.w. de absolute magnetische geleidbaarheid van de middenstof
μ_0 :	de absolute permeabiliteit van het luchtledige (= vacuüm) $= 4 \pi * 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$
μ_r :	de relatieve permeabiliteit. De verhouding tussen de absolute permeabiliteit en de permeabiliteit van de middenstof.

6.3.4. Magnetische keten

Zoals eerder gezegd volgt het magnetisch veld de weg van de minste magnetische weerstand. Als we dit nu toepassen op de windmolen, dan zouden we aan het uiteinde van de spoelen een magnetisch materiaal moeten bevestigen zodat deze veldlijnen veel sneller van noord- naar zuidpool kunnen vloeien.

6.4. Toepassing van magneten bij windmolen

Als je een geleider in een bewegend magnetisch veld brengt, dan wordt er spanning opgewekt. Dus in het geval van de windmolen willen we zoveel als mogelijk opwekken, daarom gebruiken we een spoel.

De spoel is een stuk ferromagnetisch materiaal waarop er draad is bevestigd. Doordat een ferromagnetisch materiaal beter de veldlijnen geleidt dan lucht zullen deze veldlijnen dus door deze spoel lopen. Hierdoor wordt er een bewegend magnetisch veld gecreëerd rond de windingen van koperdraad. Wat hierbij ook belangrijk is, is dat de magneten zich niet te ver van de spoel bevinden. Als een magnetisch veld door de lucht moet passeren, verzwakt dat enorm, daarom plaatsen we de magneten zo dicht mogelijk bij de spoelen.

De formule voor gegenereerde spanning die op elk ogenblik over de geleiders staat, is:

$$e = B \times l \times v \times \sin$$

Met:

B = totale inductie van de magneten.

l = lengte van de gewikkelde geleider op een spoel.

v = de snelheid van de magnetische kern.

α = de waarde waaronder het magnetische veld zich bevindt.

Wanneer het magnetische veld zich loodrecht ten opzichte van de spoel bevindt, wekt dit het meeste op.

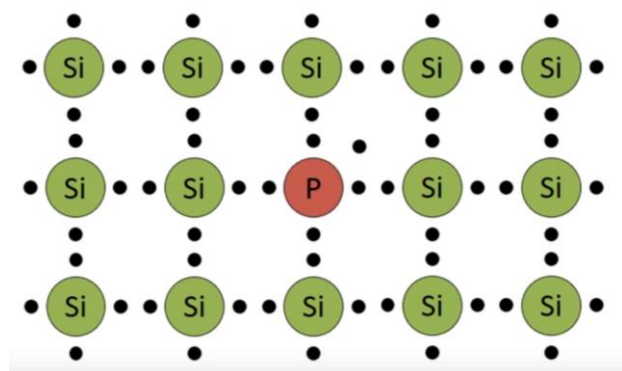
6.5. Diodebrug

6.5.1. N- en P-kristallen

De zuivere stof silicium is een isolator voor elektrische stromen, een stof die zuiver mag genoemd worden is een stof die in de kristalstructuur geen enkel ander atoom bezit. We kunnen de geleidbaarheid van de stof silicium aanpassen door er onzuiverheden aan toe te voegen. Men onderscheidt in dit verband twee typen verontreinigingen: namelijk N- en P-kristallen.

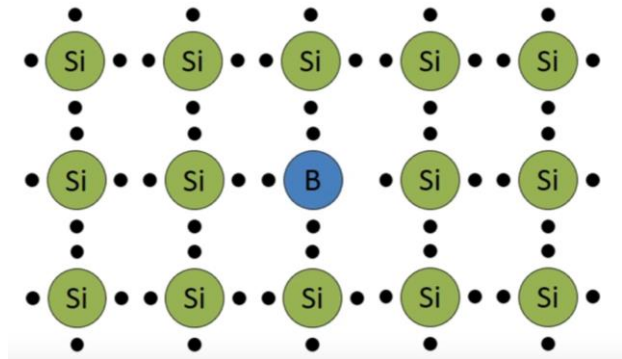
6.5.2. N-kristallen

Bij het N-kristal is er als onzuiverheid fosfor aanwezig. Fosfor bezit vijf valentie-elektronen, als we deze in de kristalstructuur van silicium plaatsen dan gaan er vier valentie-elektronen een binding aan. Dus er is een teveel aan elektronen om een stevige structuur te behouden, maar dit N-kristal blijft wel elektrisch neutraal. Dit komt omdat er voor ieder elektron, een bijhorend proton aanwezig is. De geleiding in een N-kristal is mogelijk door het verplaatsen van de vrije elektronen.



6.5.3. P-kristallen

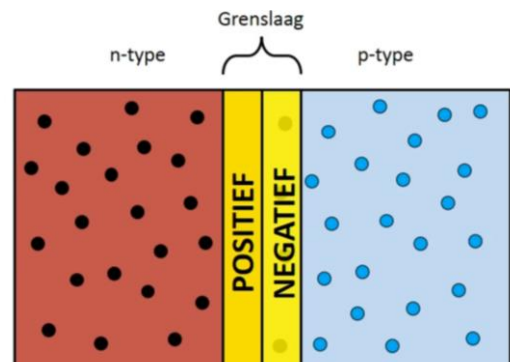
Bij het P-kristal is er als onzuiverheid boor aanwezig. Boor bezit drie valentie-elektronen. Als we deze in de kristalstructuur van silicium plaatsen dan gaan er drie valentie-elektronen een binding aan. Dus er zijn te weinig elektronen om een stevige structuur te behouden, maar dit P-kristal blijft wel elektrisch neutraal. Dit komt omdat er voor ieder elektron, een bijhorend proton aanwezig is. De geleiding in een P-kristal is mogelijk door het verplaatsen van het tekort aan elektronen. Het tekort aan elektronen op die plaatsen komt door het wisselen van een siliciumatoom met een booratom.



6.5.4. PN-junctie

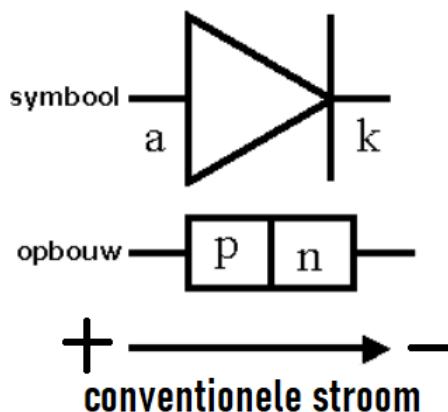
Deze kristallen doen op zich weinig, deze zijn elektrisch neutraal. Indien we ze combineren, zal er een wisselwerking ontstaan: een PN-junctie genaamd. Tussen deze twee kristallen ontstaat er een grenslaag.

Het N-kristal heeft te veel elektronen en het P-kristal te weinig. De vrije elektronen van het N-kristal zullen overgaan naar het P-kristal, dit verschijnsel noemt men elektronendiffusie. Deze diffusie vindt enkel plaats bij het samenvoegen van de twee kristallen en is van korte duur. Deze dunne laag die tussen de twee kristallen plaatsvindt heeft een diëlektrisch karakter en geleidt dus geen stroom. Dit omdat er weinig vrije ladingsdragers aanwezig zijn.



Als er een potentiaal over deze junctie komt (voor silicium 0,6-0,7 V) zal deze diffusie stoppen en zal de junctie geleiden op voorwaarde dat deze juist gepolariseerd is.

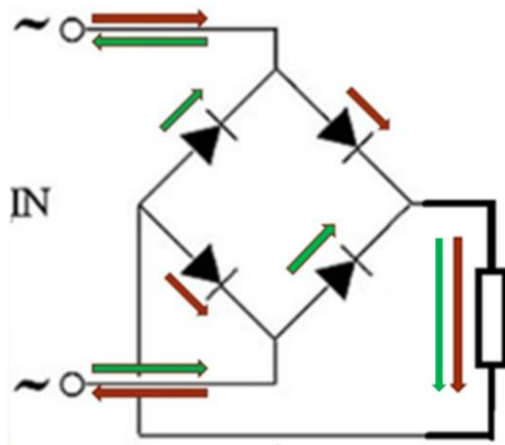
6.5.5. Kathode, anode



- Als de diode/junctie op deze manier gepolariseerd wordt zal deze geleiden, met voorwaarde dat het potentiaal minimaal 0,6-0,7V bedraagt.
- Wordt deze anders gepolariseerd dan zal hij niet geleiden.
- Je kan de diode zien als een schakelaar. Als deze juist is gepolariseerd dan is dit een gesloten schakelaar.

6.5.6. Diodebrug

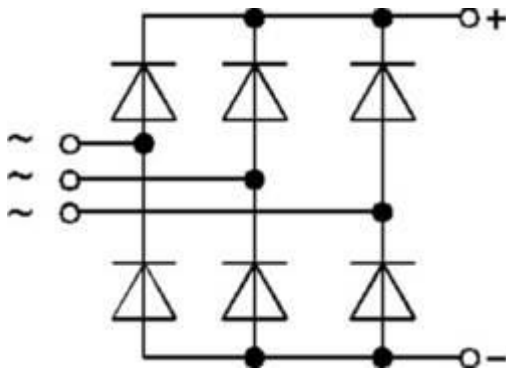
Aangezien we nu weten dat een diode de stroom maar langst één zijde doorlaat, kunnen we deze gebruiken om de opgewekte wisselstroom om te vormen naar gelijkstroom. Als we vier diodes plaatsen in een diodebrug zal deze de wisselstroom omvormen. Hieronder zie je een diodebrug.



Doordat er telkens maar twee van de vier diodes stroom doorlaten, zal deze een gelijkspanning veroorzaken. Deze wisselen steeds af waardoor de stroom in gelijke richting begint te vloeien en de spanning op dezelfde wijze gepolariseerd is.

- **Positieve alternantie**
- **Negatieve alternantie**

Deze diodebrug is niet van toepassing bij de windmolen, omdat de windmolen 3-fasespanning opwekt. Hier bestaat er uiteraard ook een diodebrug voor die werkt volgens hetzelfde principe. Hieronder zie je een driefase diodebrug.

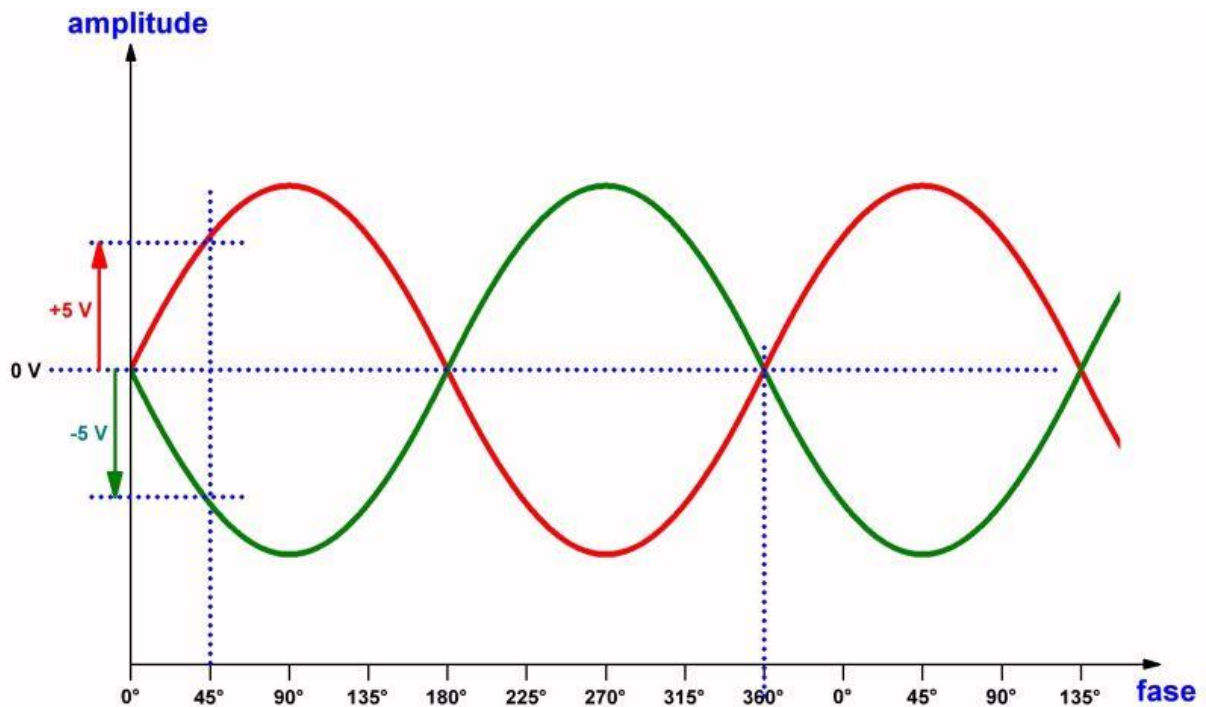


De drie draden die toekomen zijn de lijndraden die van de ster- of driehoekschakeling komen. De nulleider wordt in dit geval niet genuttigd.

6.5.7. Besluit

Doordat we acht spoelen gebruiken voor de windmolen, zullen we dus twee 3-fase diodebruggen en een dubbelfasige diodebrug gebruiken. Omdat we werken met meerdere spoelen die dus hun eigen pieken van spanning zullen opwekken en deze dus niet in dezelfde fase zullen zijn, kunnen we deze niet over dezelfde omvormer plaatsen.

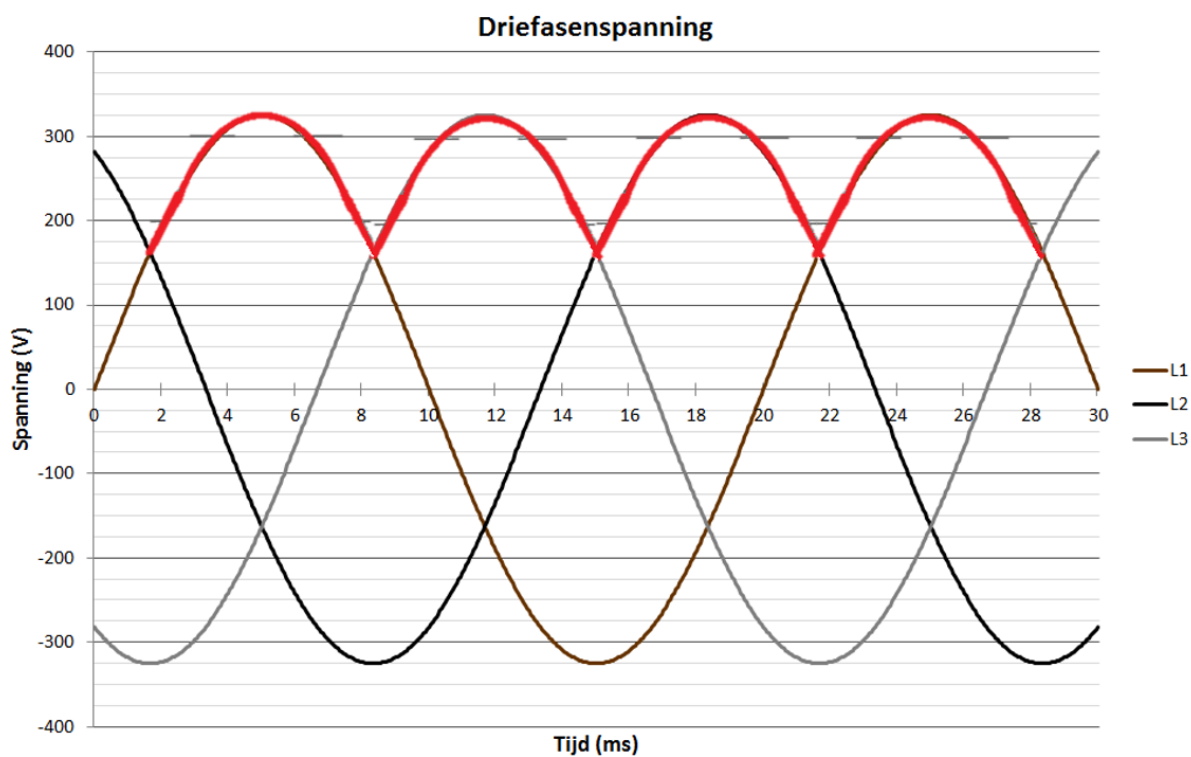
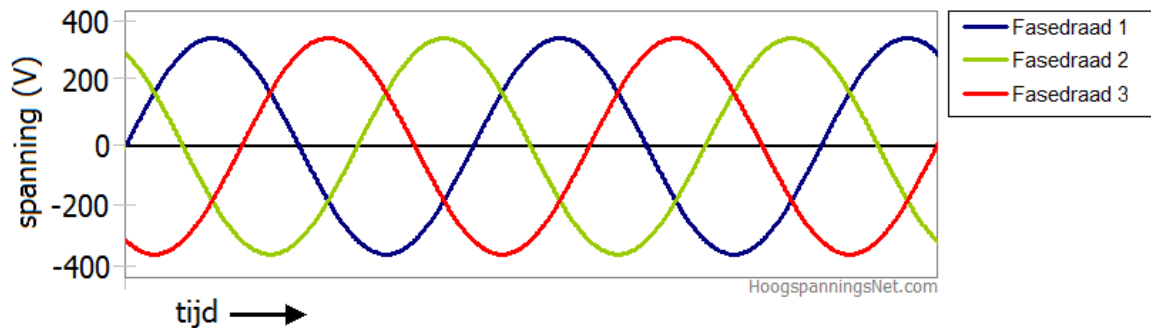
Voorbeeld: als we twee spoelen bekijken waarvan de opgewekte spanning 180° in fase verschilt, zullen deze elkaar tegenwerken waardoor er niets van spanning meer zal over zijn. Hieronder zie je twee wisselspanningen die elkaar zouden tegenwerken.



Om te voorkomen dat de opgewekte spanningen elkaar niet tegenwerken en de lading niet geneutraliseerd wordt, moeten we dus meerdere omvormers gebruiken. Als we over omvormers spreken, dan verwijzen we naar de diodebrug in die bepaalde toepassing. Hierbij moeten we wel rekening houden dat elke diode ongeveer 0,7 V nodig heeft om een stroom door te laten.

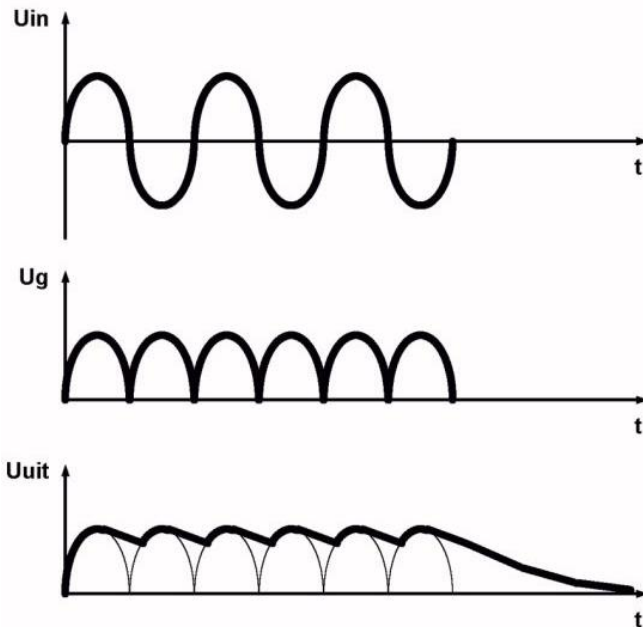
6.6. Driefasespanning

Driefasespanning, ook wel draaistroom of krachtstroom genoemd, is elektrische energie in de vorm van drie gelijktijdig opgewekte wisselspanningen die ten opzichte van elkaar in fase verschoven zijn, zodat ze niet gelijktijdig, maar na elkaar hun maximale en minimale waarde bereiken.



Bij driefasespanningen wordt er gebruik gemaakt van driehoek- of sterschakelingen om de opgewekte spanning te transporteren. Als we dit toepassen op de windmolen zal er altijd spanning opgewekt worden en dit zal ons helpen om de batterij op te laden. De batterij die wij gebruiken in onze toepassing is een lithium-ionbatterij en deze heeft namelijk minimum 4,3 V gelijkspanning nodig. En door gebruik te maken van een driehoek- of sterschakeling zal de opgewekte spanning een hogere 'constante' spanning hebben. Dit omdat er verschillende pieken zijn op verschillende momenten. Als we dit dan combineren met een condensator om de spanning nog meer af te vlakken zal dit optimaal zijn om de batterij op te laden.

Op de afbeelding op de vorige pagina is de rode lijn de spanning die aankomt op de condensator. De 3 lijnen nemen het als het ware van elkaar over. Daarom is een ster- of driehoekschakeling geschikt om een constant(er) vermogen te kunnen afleveren aan de belasting. Precies hetzelfde gebeurt in de negatieve alternantie, hier komt de gelijkrichter van toepassing. Deze zorgt ervoor dat de twee alternanties elkaar niet neutraliseren.

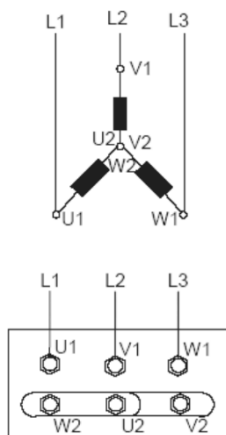


Hier kunnen we zien wat er stap voor stap gebeurt. Eerst wordt er wisselspanning opgewekt, deze opgewekte wisselspanning wordt dan omgevormd naar gelijkspanning. Om deze gelijkspanning af te vlakken gebruiken we dan een condensator.

6.6.1. Driehoek- of sterschakeling

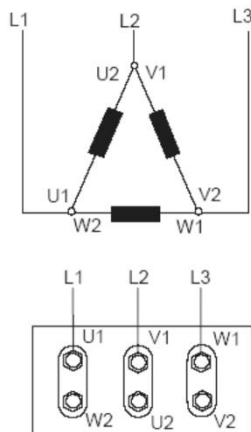
Het zijn twee verschillende manieren van schakelen. Bij de sterschakeling is er sprake van drie lijndraden en een nulleider en bij driehoek is er enkel sprake van drie lijndraden.

Sterschakeling



Hier zie je een voorbeeld van een sterschakeling. V1 en V2 staan voor het begin en het einde van een spoel, hetzelfde principe geldt voor U en W. Bij een sterschakeling worden dus telkens alle uiteinden met elkaar verbonden, het punt waar deze drie samenkomen is de nulleider. De drie uiteinden zijn dan telkens een lijndraad. Hierbij zie je ook hoe het klemplaatje aangesloten wordt bij driefasige motoren of generatoren.

driehoekschakeling

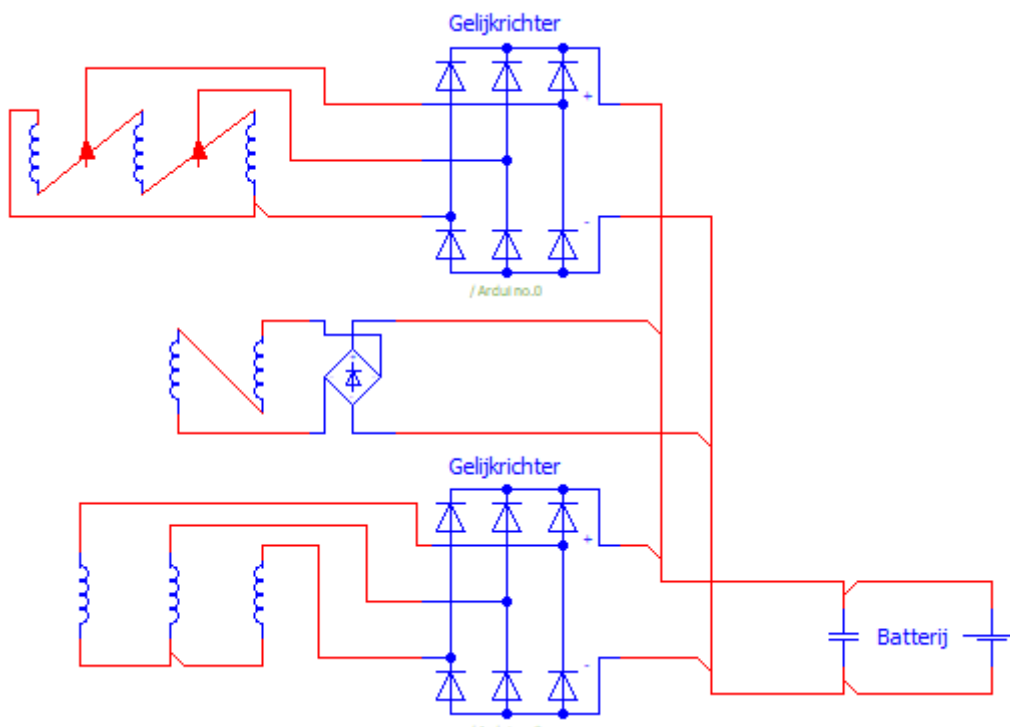


Bij de driehoekschakeling wordt telkens het begin van de ene spoel verbonden met het einde van de andere. Hierdoor is er uiteraard geen sprake van een nulleiding en enkel van drie lijndraden. Hierbij zie je ook hoe het klemplaatje aangesloten wordt bij driefasige motoren of generatoren.

6.6.2. Toepassing windmolen

Omdat er bij de windmolen 8 spoelen zijn, zullen we 6 spoelen in driehoek- of sterschakeling en de overige in serie of parallel erbij plaatsen, naargelang welk resultaat we willen. We zouden een van deze schakelingen toepassen omdat een van de opgewekte spanningen met vierkantswortel 3 vermenigvuldigd wordt. De stroom is over 3 lijnen verdeeld, dus is er minder sprake van kabelverliezen. Kabelverliezen zijn de inwendige weerstanden van de kabels zelf. Hierrond zullen we een studie doen om te kijken welke schakeling het beste is voor onze toepassing, hierbij zullen we ook rekening moeten houden met het feit dat je een deel van de spanning verliest door deze om te vormen.

6.6.3. Schakeling



Op de vorige pagina zie je de schakeling van de acht spoelen, de eerste drie spoelen staan in driehoek geschakeld. De drie lijndraden gaan dan naar de 3-fasige gelijkrichter.

De tweede reeks spoelen zijn in ster geschakeld. Je ziet ook het punt waar alle drie de spoelen met elkaar in verbinding staan, van hieruit zou dan de nulleider vertrekken. De drie lijndraden gaan dan naar de 3-fasige gelijkrichter.

De overige twee spoelen worden in serie geschakeld, als we deze twee spoelen 180° over elkaar zetten, dan zal de spanning verdubbelen. Dit komt doordat je rekening moet houden met de faseverschuiving van de opgewekte stroom. Maar door deze 180° over elkaar te zetten, los je dit probleem op. Deze opgewekte spanning wordt dan over de dubbelfasige gelijkrichter geplaatst.

De omgevormde spanning (=gelijkspanning) moet nu naar de condensator. Dit moet gebeuren via een DC-DC omvormer, dit is nodig omdat anders de 3 spoelen die het meeste opwekken stroom naar de andere spoelen zullen sturen als deze minder genereren. De condensator zal bij elke puls opladen en bij een min van spanning terug ontladen, zo krijgen we een hogere constante spanning. Deze wordt dan over de batterij geplaatst.

6.6.4. Kabelverliezen

In de alinea hierboven werd er gesproken over kabelverliezen, maar wat zijn dat precies?

Kabelverliezen is de weerstand van de geleider waardoor de stroom wilt vloeien, deze weerstanden zijn ohmse weerstanden. Door deze weerstanden zal er spanningsverlies optreden.

De wet van Pouillet:

$$R = \frac{l \times \rho}{A}$$

Met:

R = weerstand van de kabel

l = lengte van de geleider

ρ = soortelijke weerstand van de geleider

A = oppervlakte van de doorsnede van de draad

Deze soortelijke weerstand is ook afhankelijk van de temperatuur van de leiding. De soortelijke weerstand wordt dan weer in de vorige formule ingevoegd.

$$\rho_T = \rho_{\text{koper}} \times (1 + \alpha (T - 20))$$

Met:

ρ_T = soortelijke weerstand bij temperatuur

α = temperatuurscoëfficiënt van het materiaal

T = temperatuur van de leiding

Als we dit toepassen op de spoelen, dan krijgen we volgende berekeningen als we een temperatuur van 20°C veronderstellen. Het kan zijn dat door het vloeien van de stroom de temperatuur van de geleider stijgt. Met als logisch gevolg dat de weerstand van de kabel ook stijgt. Deze waarden zullen klein tot verwaarloosbaar zijn.

Voorbeeld toegepast op de spoel:

$\rho_{20\text{koper}} = 1,75 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ (bij 20°C)

Diameter draad = 0.0002m

Lengte draad = 44m

$$A = \frac{d^2 \times \pi}{4}$$

$$A = \frac{0,0002^2 \times \pi}{4}$$

$$A = 3,14 \times 10^{-8}$$

$$R = \frac{44 \times 1,75 \times 10^{-8}}{3,14 \times 10^{-8}}$$

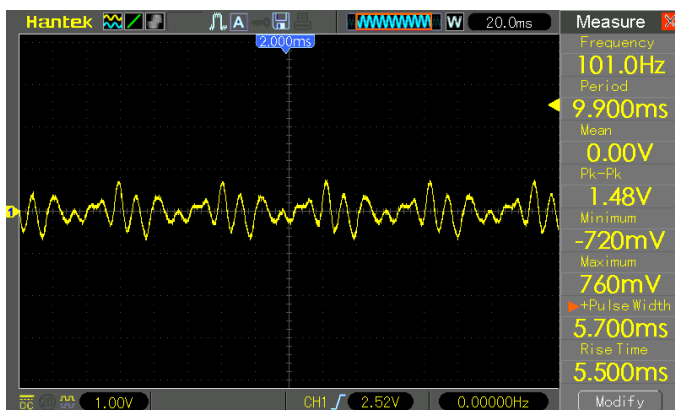
$$R = 24,5\Omega$$

6.6.5. Test windmolen

Om deze test representatief te houden hebben we alles bekeken over dezelfde tijdschaal en spanningschaal.

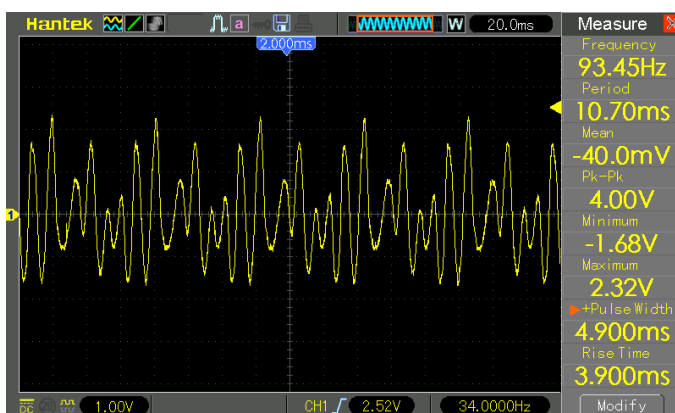
Sterschakeling 1

Drie spoelen met 38 m draad van 0.2 mm opgewikkeld.



De eerste meting is tussen de nulleider en de lijndraad.

Uit deze meting kunnen we afleiden dat de opgewekte spanning in de positieve alternantie 760 mV bedraagt en de negatieve alternantie -720 mV.



De tweede meting is tussen twee lijndraden.

Uit deze meting kunnen we halen dat de opgewekte spanning in de positieve alternantie 2,32 V bedraagt en de negatieve alternantie $-1,68$ V.

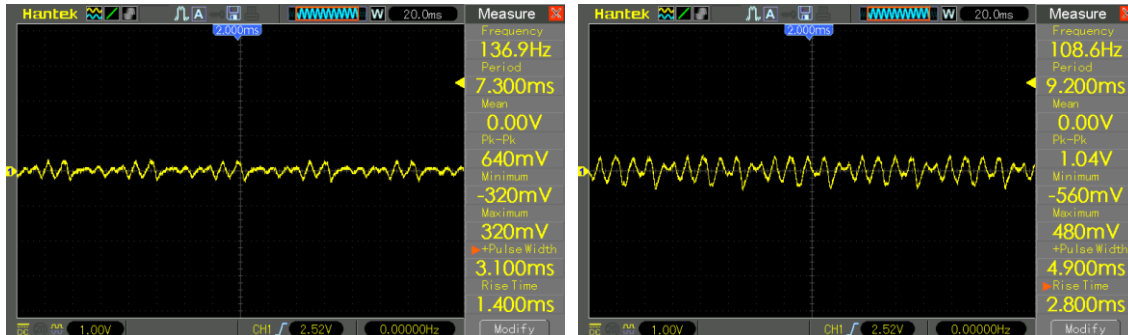
Sterschakeling 2

Drie spoelen met 44 m draad van 0.1 mm opgewikkeld.

Om deze meting te kunnen vergelijken met de andere metingen behouden we dezelfde schaal.

nulleider-lijndraad:

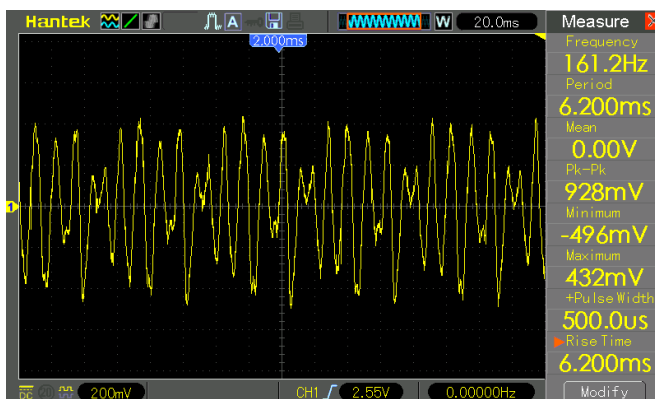
lijndraad-lijndraad:



Om deze golven beter te bekijken maken we de spanningschaal kleiner. We brengen deze van 1 V naar 200 mV.



Deze meting is gebeurd tussen nulleider en lijndraad. Uit deze meting kunnen we afleiden dat de opgewekte spanning in de positieve alternantie 320 mV bedraagt en de negatieve alternantie -320 mV.



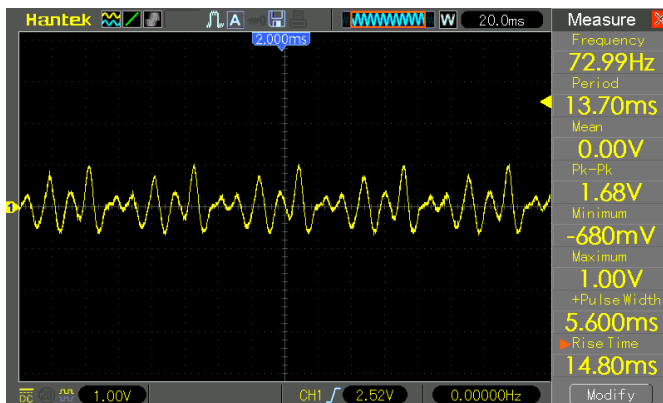
Deze meting is tussen twee lijndraden. Uit deze meting kunnen we afleiden dat de opgewekte spanning in de positieve alternantie 432 mV bedraagt en de negatieve alternantie -496 V.

Besluit

Als je tussen de nulleider en de lijndraad meet, dan meet je de gegenereerde spanning over een spoel. Als je tussen twee lijndraden meet, dan meet je de gegenereerde spanning over de sterschakeling. Volgens de theorie is deze spanning over de sterschakeling vierkantswortel 3 keer groter dan over een spoel. Met deze meting bewijzen we dus dat het inderdaad beter is om met een sterschakeling te werken omdat je hierdoor over drie spoelen een keer vierkantswortel 3 verhoogt.

Driehoekschakeling 1

Drie spoelen met 38 m draad van 0.2 mm opgewikkeld.



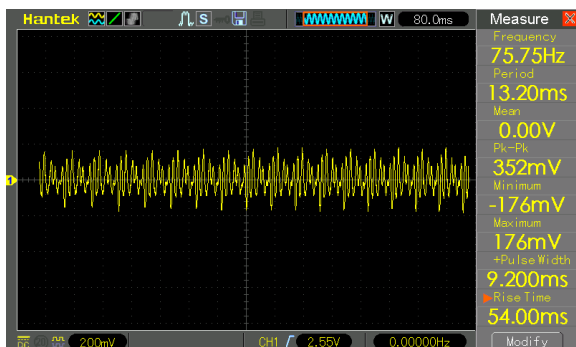
Uit deze meting leiden we af dat de opgewekte spanning in de positieve alternantie 1 V bedraagt en de negatieve alternantie -680 mV.

Driehoekschakeling 2

Drie spoelen met 44 m draad van 0.1 mm op gewikkeld.



Om de meting te kunnen vergelijken met de andere metingen, hier weer de algemene schaal.



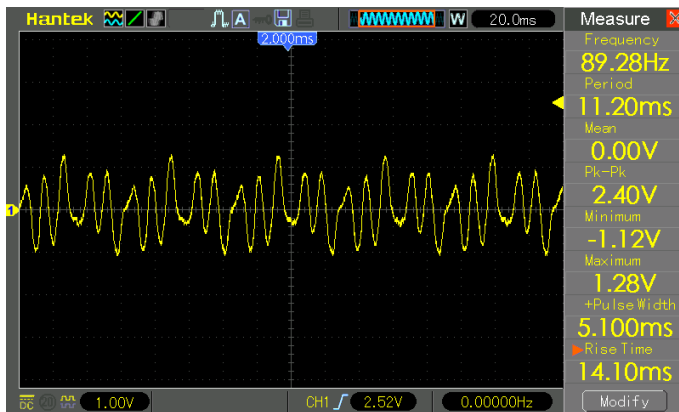
Uit deze meting leiden we af dat de opgewekte spanning in de positieve alternantie 176 mV bedraagt en de negatieve alternantie -176 mV

Besluit

We hebben hier maar twee metingen nodig omdat er geen nulleider is waarmee we kunnen meten. Hier meten we meteen tussen twee lijndraden. Uit deze metingen zijn er veel mindere resultaten gekomen.

Serieschakeling

Twee spoelen met 22 m draad van 0.1 mm opgewikkeld.



Deze spoelen staan 180° over elkaar. Hierdoor wordt de opgewekte spanning van de twee spoelen opgeteld.

Uit deze meting leiden we af dat de opgewekte spanning in de positieve alternantie 1,28 V bedraagt en de negatieve alternantie -1,12 V.

Algemeen besluit

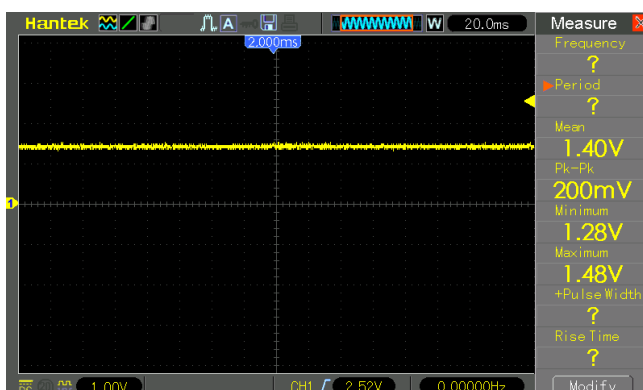
De meest optimale schakeling om wisselspanning op te wekken is de sterschakeling (als we hier tussen de twee lijndraden meten uiteraard).

Schakeling	Positieve alternantie	Negatieve alternantie	Piek-piek
Ster 1	2,32 V	-1,68 V	4,00 V
Ster 2	432 mV	-496 mV	928 mV
Driehoek 1	1 V	-680 mV	1,68 V
Driehoek 2	176 mV	-176 mV	352 mV
serie	1,28 V	-1,12 V	2,40 V

Hier zie je duidelijk dat de sterschakeling de meest geschikte schakeling is om spanning te transporteren nadat deze opgewekt is.



Door een meting uit te voeren na de omvorming komen de dit uit.



Als we deze omgevormde spanning over twee condensatoren zetten dan krijgen we deze afgevlakte spanning.

6.7. Reflectie project windmolen

6.7.1. Spoelen

Omdat deze spoelen ontworpen worden voor deze hele fijne draad, kan je er niet heel veel draad op wikkelen. Een oplossing zou kunnen zijn de spoelen wat anders te ontwerpen zodat er een dikkere draad op kan gewikkeld worden. Deze dikkere draad zorgt ervoor dat er meer stroom kan vloeien, de dikte van de draad heeft verder geen invloed.

Een tweede probleem is dat de spoelen zich ook relatief ver van de magnetische bewegende kern bevinden. En hoe verder de magnetische veldlijnen zich moeten verplaatsen, hoe zwakker ze worden. De oorzaak hiervan is dat de veldlijnen meer weerstand ondervinden, waardoor de totale magnetische inductie afneemt. In dit ontwerp kunnen er maar 8 spoelen op de kern geplaatst worden, dit is ook niet ideaal. Wat beter zou zijn, is een ontwerp waarin er telkens 3 spoelen met 120° ertussen geplaatst worden op de kern. Als je voor het aantal spoelen telkens een veelvoud van 3 zou nemen, dan zou het beter zijn om met een ster- of driehoekschakeling te werken.

Om de magnetische keten te sluiten zou het goed zijn dat we met een ferromagnetisch materiaal de spoelen met elkaar verbinden. Dit met een relatief dik materiaal omdat er dan minder magnetische weerstand aanwezig is.

6.7.2. Wieken

We hebben de rotorbladen hergebruikt van een ouder project op school. Deze hebben in principe niet de ideale vorm. Deze zouden aerodynamisch gezien een beter vorm kunnen hebben. Op school is dit uiteraard moeilijk om deze vorm te verkrijgen.

Om de kern met magneten sneller te doen draaien, zouden we met een tandwielverhouding kunnen werken. Dit zou goed zijn voor het opwekken van stroom omdat de snelheid en de opgewekte spanning een recht evenredig verband hebben met elkaar. De windmolen start dan moeilijker, maar eenmaal deze draait en een eigen moment heeft gecreëerd, zal hij vlot draaien. Hierover een oefening in de mechanische studie.

6.7.3. Generator

De generator zouden we anders kunnen ontwerpen zodat de spoelen anders gepositioneerd zouden zijn, dit staat besproken bij de spoelen.

Meer magneten zullen ook meer opwekken, maar dan zouden we een ander probleem veroorzaken. Namelijk dat de wieken moeilijker zullen draaien. Dit is nu al een uitdaging, dus de generator van meer magneten voorzien, is niet de oplossing om meer spanning te creëren.

6.7.4. Schakeling

Het grootste probleem zit hem bij het omvormen van de gegenereerde spanning. Als we met een ster- of driehoekschakeling werken, dan moeten we ook met een 3-fasige diodebrug werken. Een dubbelfasige of driefasige omvormer vraagt elk $1,4 V$ om te werken. Deze spanning is dezelfde doordat er telkens 2 dioden geleiden. Wat ook een probleem veroorzaakt, is dat je per ster- of driehoekschakeling een eigen omvormer moet voorzien omdat deze spanningen anders elkaar zullen tegenwerken.

6.8. Verlichting

Het is de bedoeling dat we in beide huizen de koeling en verwarming in het oog kunnen houden. Daarom zijn beide huizen voorzien van kleine ramen afgedekt met plexiglas. Het is wel zeer donker in deze huizen en daarom zullen we ze gaan verlichten met lampen, hiervoor hebben we een studie rond soorten verlichting gedaan, daarin zijn we tot het besluit gekomen dat LED-licht het meest efficiënt is om te gebruiken in ons project.

6.8.1. Lampen

Er bestaan veel verschillende soorten lampen: de gloeilamp, de halogeenlamp, de spaarlamp, de TL, de LED. De eerste lampen dateren volgens wetenschappers uit 1200 en 1500 v.C. en in die tijd zien we olielampen. Rond 1859 komt de petroleumlamp op als vervanger voor de olielampen. Hieronder vind je een korte beschrijving van verschillende lampen. We lichten ook onze keuze voor ledlampen toe.

6.8.2. Gloeilamp

De gloeilamp wordt zo goed als niet meer gebruikt de dag van vandaag (verboden sinds 2012) wegens zijn laag rendement. Er wordt namelijk meer warmte geproduceerd dan licht, wat dus een verspilling van energie is. Hij heeft een rendement van 5-10%, m.a.w. heel laag. Bovendien had de gloeilamp maar een levensduur van 1000 uren. De gloeilamp is eigenlijk een zuurstofarme bol waarin zich een geleider bevindt, deze wordt door elektrische stroom verhit en zou zo licht moeten produceren. Deze geleider is vervaardigd uit het overgangsmetaal wolfram, omdat dit een hoge smeltemperatuur kent. De gloeilamp is uitgevonden door Thomas Edison in 1879.



6.8.3. Halogeenlamp

De halogeenlamp lijkt heel goed op een gloeilamp, maar het luchtledige is gevuld met een inert gas onder hoge druk. Hieraan wordt broom of jodium toegevoegd. Deze lamp heeft al een iets hoger rendement van 10-20%, dus al een verbetering in vergelijking met de gloeilamp. Ook had hij een langere levensduur op dezelfde temperatuur of een even lange levensduur op hogere temperatuur. In 2003 werd deze lamp verbeterd met een HIR-techniek waarbij de infrarode warmtestralingen teruggekaatst worden naar de gloeidraad. Hierdoor had de halogeenlamp een hoger rendement.



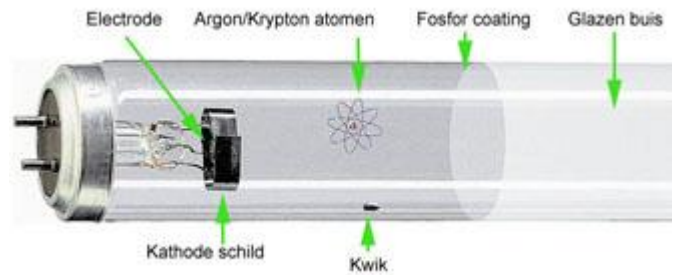
6.8.4. Spaarlamp

De spaarlamp heeft een ingebouwde starter en een voorschakelapparaat, dit is eigenlijk een opgevouwen TL. De buis is gevuld met een kwikdamp waar stroom doorgaat, door de reactie hiervan hebben we licht. Deze lampen werden eind de jaren '70 ontwikkeld en kwamen in de jaren '80 op de markt. Deze lampen gaven 4 keer meer licht per watt dan een gloeilamp, ze gaan ook 6 tot 10 keer zo lang mee (staat gelijk aan 6000-10000 uren). Er waren ook al meer kleurenvariaties mogelijk en ze zijn ook dimbaar. De kwikdamp heeft wel een negatieve invloed op het milieu waardoor ook deze lampen weer een sterk nadeel hebben. Het zijn ook relatief dure lampen en ze kunnen niet tegen hoge temperaturen. Ze gebruiken evenveel stroom als een gloeilamp, maar geven gewoon meer licht. Dit zijn nog maar enkele nadelen van de spaarlamp.



6.8.5. TL

Dit zijn eigenlijk 'lichtgevende buizen' ze geven licht door het oplichten van een fluorescerende laag onder invloed van ultraviolette stralen die worden opgewekt door gasontlading in de buis zelf. In de buis zelf zit argon of krypton met een kwikdamp onder lage druk. De lichtopbrengst is 5-6 keer meer dan bij een gloeilamp. Deze lamp werd in 1935 al gedemonstreerd. Ze hebben ook een starter nodig om het gas de eerste keer te ioniseren. Het VSA (voorschakelapparaat) is nodig tijdens gebruik, de starter doet daarna niets meer. De levensduur van deze lampen bedraagt tussen de 10000 en de 60000 uren. Er bestaan zelfs TL-lampen (duurdere versies) die 84000 uren meegaan. Deze lampen hebben een rendement van 35%.



6.8.6. LED

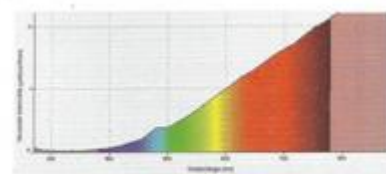
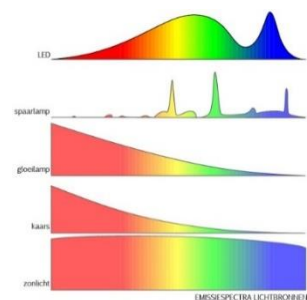
De ledlamp is eigenlijk een verzameling van licht-emitterende diodes. Een dergelijke lamp heeft een zeer grote stralingshoek en een rendement van 50%, een hoger rendement kan je tot op heden niet vinden. Ze gaan ongeveer 50 000 uren mee afhankelijk van het type en de prijsklasse (wat sterk varieert bij ledlampen). Een nadeel is wel dat ze duur zijn in aankoop, maar dat win je uit naarmate je ze veel gebruikt. Sinds 2014 kunnen LED's eigenlijk alle soorten lampen vervangen wegens hun goede prestaties. Wij zouden opteren voor dit soort lampen omwille van de weinig afgegeven warmte en omdat je met deze soort lampen gemakkelijk kunt werken. Je kunt namelijk een LED-strip kopen en dit is gemakkelijk beweegbaar en te plaatsen zoals je zelf wil.



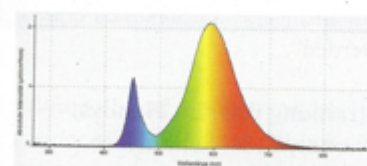
6.8.7. Waarom is LED de meest efficiënte verlichting?

Volgens het lichtspectrum.

Eerst en vooral omdat ledlampen een zeer hoog rendement hebben (90 tot 95%). Wij als mensen kunnen licht zien met een golflengte tussen de 380 nm en 780 nm, we zien dus dat de uitgestraalde energie (golflengte ervan) van een LED veel meer in het lichtspectrum ligt dan de uitgestraalde energie (golflengte ervan) van bijvoorbeeld een gloeilamp. De lampen zullen dus veel minder stroom gaan verbruiken om evenveel nuttig licht (dat voor ons zichtbaar is) te produceren dan de gloeilamp bijvoorbeeld omdat ze een veel hoger rendement hebben. Dit omdat dus meer energie omgezet wordt in licht zelf, bijvoorbeeld bij een LED-lamp kunnen we 150 lumen per watt bekomen, bij een gloeilamp is dit slechts 10 lumen per watt. Bij lampen met een laag rendement wordt de energie die niet gebruikt wordt voor licht omgezet in warmte-energie. LED-verlichting doet dit ook, maar in veel mindere mate omdat ze een hoger rendement hebben.



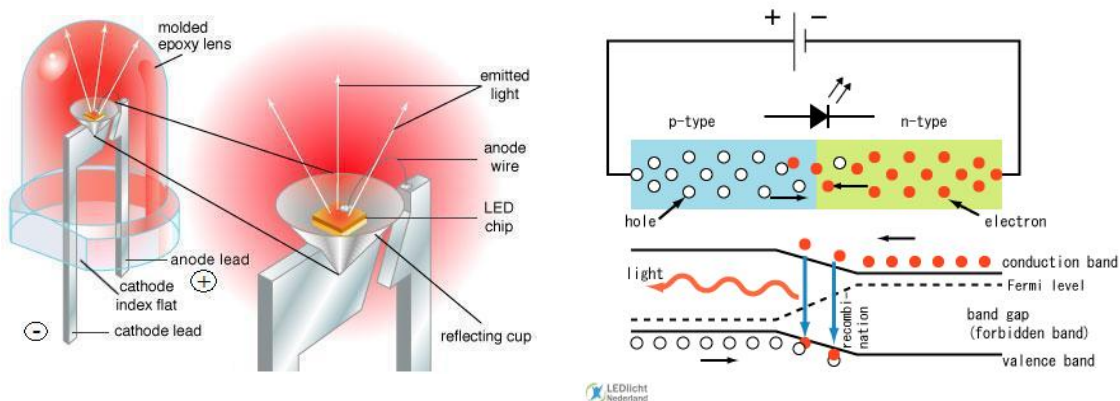
Philips 60 W matt



BIO LED EX 10 W

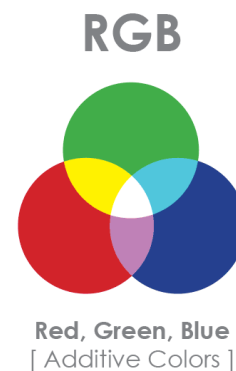
Volgens de opbouw

Ook gaat LED-verlichting veel langer mee, tot wel 50 000 uren. Het is daarbij wel van belang dat de warmte die de ledlampen produceren, goed wordt afgevoerd en ook dat de elektronica van goede kwaliteit is. Is dat niet het geval, dan gaat de levensduur sterk achteruit. Ook bestaat er zoiets als de halfwaardetijd (L50), dit is het aantal uren dat een ledlamp kan branden totdat hij nog de helft van zijn lichtsterkte uitstraalt. Deze waarde hangt ook weer af van de constructie en materiaalkeuze, maar ook van de junctietemperatuur. Deze is meestal een opgegeven waarde van de fabrikant. Ook is het beter als deze waarde niet te hoog ligt voor de efficiënte verhouding van lumen/watt. Als dit alles goed is, zorgt dit er dus voor dat er minder grondstoffen zullen nodig zijn op langere termijn, ook is dit soort verlichting voor 90% recyclebaar en bevat ze geen giftige stoffen zoals sommige andere soorten verlichting (bv. verlichting met kwik, zoals bij spaarlampen). Een LED werkt volgens hetzelfde principe als een diode, enkel dat deze is opgebouwd uit een ander materiaal (Ga + P, Ga + As). Een diode is een PN-junctie. In de P-junctie bevinden zich gaten en in de N-junctie bevinden zich vrije elektronen. Als er hierop een spanning wordt aangesloten zullen de elektronen de gaten vullen. Hierbij komt energie vrij in de vorm van licht (dit door de specifieke gekozen materialen). Om de kleuren van het licht te veranderen zal een ander materiaal moeten worden gebruikt. Verschillende materialen worden gebruikt bij diodes, maar alleen de materialen die fotonen vrijgeven met de golflengte van zichtbaar licht, worden gebruikt voor LED's. Nog een voordeel van een ledlamp is dat hij via een druk op een knop direct aangaat en niet eerst moeten opwarmen zoals bijvoorbeeld gasontladingslampen moeten doen. Voorbeelden van gasontladingslampen zijn tl-buizen, spaarlampen, natriumlampen (straatverlichting)...



Kleurenpalet

Bij elke kleur hoort ook een andere diffusiespanning. Een diffusiespanning is de spanning die nodig is om een diode, in ons geval de LED te doen geleiden. Deze spanning is nodig omdat er in een diode een sperlaag zit die ervoor zorgt dat er geen geleiding is. Als de diode in doorlaat geschakeld staat en de juiste diffusiespanning staat over de diode, zal deze gaan geleiden. Deze kan berekend worden a.d.h.v. de formule $E = \frac{h \cdot c}{\gamma}$. Hierbij is h de constante van Planck, deze heeft een waarde van $6,626 \cdot 10^{-34}$. c is de lichtsnelheid en γ is de golflengte. Het licht verandert dus van kleur naarmate dat de energie verandert, hoe meer energie, hoe dichter het soort licht naar UV gaat. Als de energie afneemt, gaat het eerder op naar IR. Maar dat verandert niets aan de werking of aan het feit dat ze zeer rendabel zijn.

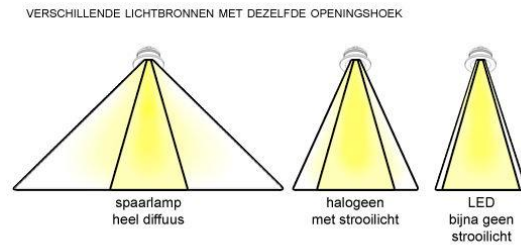


Stralingshoek

Ook is ledverlichting zo goed omdat er niet veel energie onder de vorm van licht verloren gaat in de armatuur, dit komt door de stralingshoek van de LED. Ledlichten hebben een gerichtere stralingshoek. De stralingshoek van een ledlicht is dan ook tussen de 100° en 3°. De stralingshoek van het ledlicht bepaalt dus ook enerzijds het rendement, nl. de hoeveelheid licht dat de LED uitstraalt, dit wordt berekend a.d.h.v.

volgende formule $\text{aantal lumen} = \text{aantal mcd} \times 2\pi \left(1 - \cos\left(\frac{\text{stralingshoek} \times \pi}{360^\circ}\right)\right)$ uitgedrukt in lumen.

Het aantal mcd (millicandela) is de hoeveelheid licht die een lamp uitstraalt in een bepaalde richting. Ook is de LED zeer efficiënt door de reflecterende laag in het armatuur van de LED, op deze manier wordt er dus zoveel mogelijk licht naar buiten gestuurd. Een LED is een halfgeleider, hierbij wordt het licht dus al automatisch meer gebundeld.



6.9. Schakeling

6.9.1. Schakeling huizen



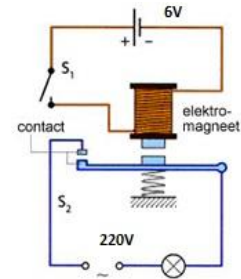
In een tuinhuis werken we al bovengenoemde componenten weg. Eerst en vooral willen we de huizen kunnen verlichten, dit gebeurt met LED-strips, ook moet in het huis dat we zullen verwarmen, gezorgd worden voor ventilatie. Deze ventilatie zal gebeuren aan de hand van ventilatoren, deze worden geschakeld met een relais omdat we op deze manier in ons programma kunnen bepalen wanneer deze moeten werken en wanneer niet, net zoals de LED-strips. Daarnaast willen we van ons project een slim project maken. Hiermee wordt concreet bedoeld dat het systeem uit zichzelf bepaalde processen stopzet of opstart, hiervoor zullen we werken met temperatuursensoren. Door deze sensoren kunnen wij in ons programma enkele commando's geven die temperatuurgerelateerd zijn. De sensoren worden geschakeld als een bussysteem omdat dit gemakkelijker is om mee te werken. Om het water door het systeem te pompen, gebruiken we twee pompen. Een van deze

pompen zal geschakeld worden met een MOSFET en de andere pomp met een NPN darlington. Ook moet er parallel over de pomp nog een diode worden geplaatst voor de veiligheid, de uitleg daarvan volgt later in deze studie. Alle schakelingen worden gemaakt op het breadboard en indien nodig aangesloten op de Arduino Uno.

6.9.2. Het relais

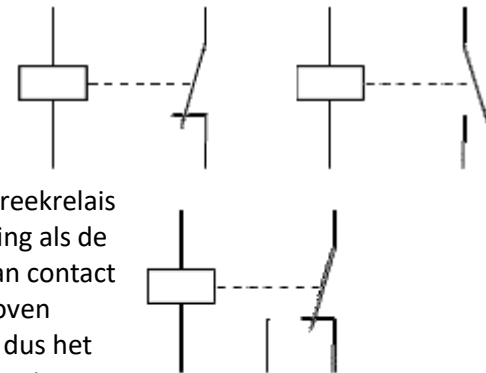
opbouw

Een relais is een schakelaar die door een elektromagneet wordt bediend en zo een willekeurig aantal schakelcontacten kan openen of sluiten. Een relais bestaat eerst en vooral uit een elektromagneet, dat is eigenlijk een spoel met hierin een ferromagnetische kern. Daarnaast hebben we het anker dat dus wordt aangetrokken tot de spoel. Door deze aantrekking kun je dus ook zien dat dit een invloed zal hebben op de contacten.



Soorten relais

Als je bijvoorbeeld een maakcontact hebt, zal het contact dus sluiten wanneer het anker aangetrokken wordt tot de spoel en wanneer je een verbreekcontact hebt, zal het contact verbreken wanneer het anker aangetrokken wordt tot de spoel. We hebben drie soorten contacten: het maakrelais (rechtsboven), verbreekrelais (linksboven) en het wisselrelais (onderaan). Het maakrelais is het standaardrelais, dat maakt contact, sluit dus de stroomkring wanneer de stuurstroom wordt ingeschakeld. Het verbreekrelais doet compleet het tegenovergestelde, dat verbreekt namelijk de stroomkring als de stuurstroom wordt ingeschakeld. Als laatste, het wisselrelais, dat wisselt van contact en dat dan ook vijf aansluitklemmen heeft in plaats van vier zoals de hierboven benoemde relais. Deze extra aansluiting zorgt ervoor dat het kan wisselen, dus het kan het contact verbreken, maar ook maken bij het inschakelen van de stuurstroom.



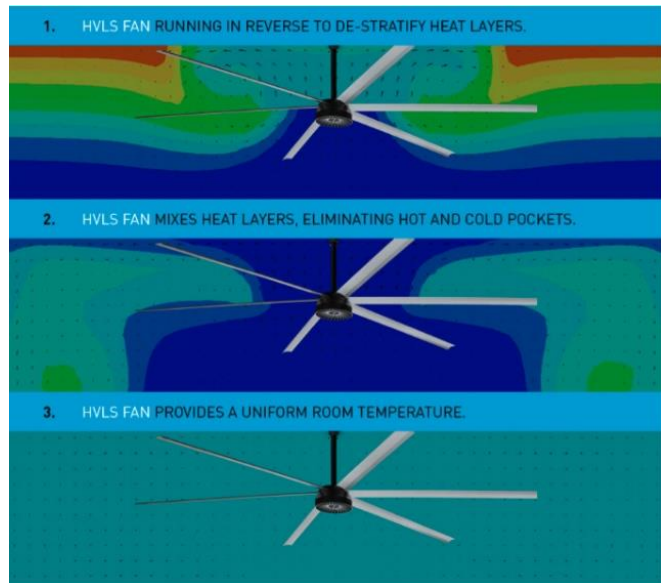
Gebruik voor onze gip

We zien dus dat het inschakelen gebeurt aan de hand van een magnetisch contact, dit is dan ook de reden dat we niet hebben gekozen om het debiet te regelen aan de hand van een relais, dat zou namelijk zeer snel stuk gaan. Eerst en vooral gebruiken we geen relais voor PWM-sturing omdat dat tot duizend keer trager schakelt dan een transistor, maar ook zijn de schakelcycli van een relais veel lager dan van een transistor. Aangezien de schakelcycli veel lager zijn en het zeer veel moet schakelen in een kort tijdsinterval wil dit zeggen dat het relais snel zal stuk gaan. We zullen dus enkel een relais gebruiken voor alle componenten die moeten in- of uitgeschakeld worden via de computer. We schakelen onze relais zoals maakcontacten zodat deze in rust altijd uitgeschakeld zijn en wanneer wij bepalen ze te gebruiken, ze in werking treden.

6.9.3. De ventilatoren

Gebruik

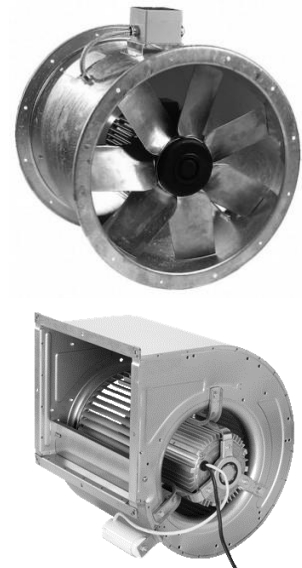
Een ventilator wordt vooral gebruikt om verse lucht aan te voeren en in de zomer ook om frisse lucht aan te voeren, in onze toepassing wordt de ventilator vooral gebruikt om luchtlagen te voorkomen. Dit is belangrijk omdat warme lucht zich boven koude lucht plaatst en zo zouden we kans hebben op onjuiste metingen, omdat onze sensoren op een bepaalde hoogte hangen. De ventilatoren zorgen ervoor dat de lucht constant wordt 'gemengd', op deze manier bekom je een constante temperatuur doorheen heel de ruimte. Onze ventilatoren werken op 5 V en op deze manier kunnen we gebruik maken van de voeding die op de Arduino zit.



Soorten ventilatoren

Er bestaan twee soorten ventilatoren: de axiaal ventilatoren (bovenste foto) en de radiaal of centrifugaal ventilator (onderste foto). Bij een axiaal ventilator verplaatst de lucht zich volgens de lengterichting van de aandrijfas. Deze ventilatoren kunnen grote hoeveelheden lucht verplaatsen en zijn ook ideaal in ons project omdat ze niet veel plaats innemen. Bij een radiaal ventilator wordt de lucht op dezelfde manier aangetrokken als bij een axiaal ventilator, namelijk volgens de lengterichting van de aandrijfas. Met de lengterichting van de aandrijfas wordt bedoeld dat de lucht zogezegd zou botsen op het vlakke oppervlak van de as.

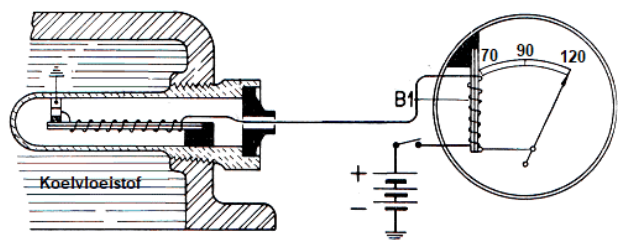
Het verschil is dat bij een radiaal ventilator de lucht wordt omgebogen en zo wordt deze volgens de lengterichting van de as uitgeblazen. Deze ventilatoren zijn wel zeer groot. In ons project maken we dus gebruik van een axiaal ventilator, omdat deze het gemakkelijkst te vinden zijn en ook geringe afmetingen hebben.



6.9.4. De temperatuursensor

Soorten temperatuursensor

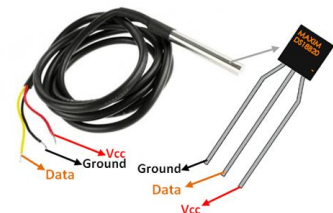
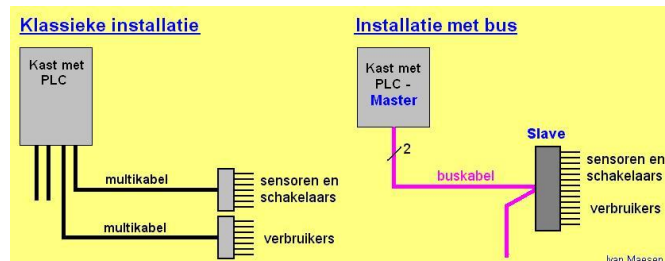
We hebben een koelvloeistoftemperatuursensor en een NTC- & PTC-temperatuursensor. De eerste maakt gebruik van een koelvloeistof die de omgevingstemperatuur aanneemt en doorgeeft aan een bimetaal. Aan de hand van de kromtrekking van het bimetaal wordt de



temperatuur bepaald. De afkorting NTC staat voor *negatieve temperatuurcoëfficiënt*. Een NTC is een type weerstand waarvan de waarde daalt als de temperatuur toeneemt. Dus hoe hoger de temperatuur, hoe lager de weerstand. Een PTC-weerstand is een weerstand met een positieve temperatuurcoëfficiënt, dit betekent dat de elektrische weerstand sterk toeneemt als de temperatuur toeneemt in een bepaald temperatuurbereik.

Gebruik voor onze GIP

Wij zullen gebruik maken van een digitale sensor die aan de hand van elektronica de omzetting zal doen, namelijk de DS18B20. De sensor zet intern een analoge temperatuurmeting om in een digitaal getal. Dit getal kan dan worden uitgelezen via een 1-wire bus. Het is mogelijk om met meerdere sensoren te communiceren over dezelfde bus. Wanneer een sensor door de microprocessor gevraagd wordt om een meting uit te voeren, zal de sensor de digitale meting via dezelfde bus zenden. De door ons gebruikte temperatuursensor heeft drie aansluitklemmen, de Vcc, GND en de datapin. Op onderstaand schema wordt aangetoond hoe deze worden aangesloten volgens het door ons gebruikte bussysteem.



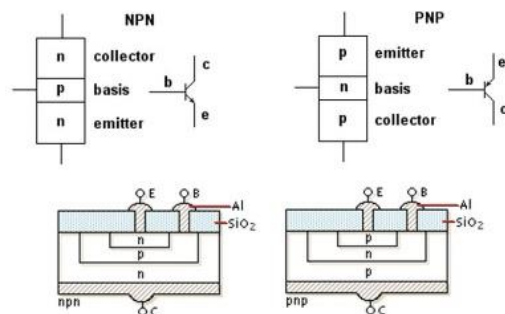
6.9.5. De bipolaire transistor

Opbouw

De transistor is een passieve component bestaande uit drie opeenvolgende lagen P- en N-materiaal. Als elektrische component doet hij meestal dienst als versterkend of schakelend element. Deze component heeft gewoonliks drie aansluitingen, een collector, emitter en basis. Aan de collector sluiten we onze verbruiker aan en aan de emitter wordt het versterkte signaal onttrokken. Bij de base wordt het te versterken signaal aangesloten.



Transistor Opbouw



Werking

Er bestaan twee basistypes transistoren: NPN-type en het PNP-type. Bij het PNP-type wordt dus een N-gebied tussen twee P-gebieden geplaatst. Bij het NPN-type wordt een P-gebied tussen twee N-gebieden geplaatst. Het P- en N-gebied hebben dezelfde functie als bij een diode. De werking van een transistor is vrij eenvoudig en vanzelfsprekend. Als we de NPN-transistor beschouwen als een schakeling van diodes kunnen we stellen dat de basis-emitterovergang in doorlaat wordt geschakeld en de basis-collectorovergang in sper. De PNP-transistor is exact het omgekeerde van de NPN-transistor, daarom zal er enkel over de NPN-transistor gesproken worden. Met onze kennis van dioden weten we dus dat aan de emitter een negatieve spanning moet staan en aan de collector een positieve spanning.

Toepassing in de praktijk

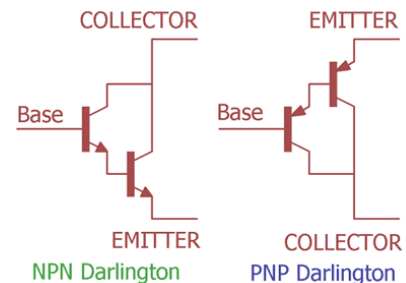
In onze toepassing op het passief huis wordt de transistor dan ook gebruikt als stroomversterkende schakelaar, eerst zullen we het dus hebben over versterken van de stroom. De mate waarin een transistor versterkt, wordt opgegeven in de datasheets ervan en wordt weergegeven als h_{FE} dit is het symbool voor de maat van hoeveel keer de toegevoerde stroom wordt versterkt. Als we dus een stroom I_B hebben wordt deze h_{FE} keer versterkt. Om de ideale versterkte stroom te bekomen, zullen we dus berekenen met welke stroom we erop moeten toekomen, we weten dat de Arduino +5V uitstuurt, dus hebben we dan ook genoeg gegevens om deze te berekenen. Voorbeeld:

GEGEVENS	GEVRAAGD	REKENWERK
$h_{FE} = 100$	Geleverde stroom door Arduino (I_B)	$I_B = I_E / 100 = 10\text{mA}$ $R = U_{\text{ARDUINO}} (=5\text{V}) / I_B = 500\Omega$
Nodige stroom (verbruiker) = 1A (I_E)	Voorschakelweerstand (R)	

Zoals eerder vermeld kunnen we de transistor ook gebruiken als schakelaar, zo zullen wij hem ook gebruiken omdat we met een transistor veel sneller kunnen schakelen dan met een relais. Dit is dan vooral handig bij PWM-sturing, op deze manier kunnen we dan a.d.h.v. programma het debiet van de pompen aanpassen. Om de transistor te kunnen gebruiken als schakelaar moeten we wel rekening houden met het feit dat de basisstroom voldoende groot is om de belasting in te schakelen. In het geval van uitschakelen moet deze voldoende klein zijn. Dit omdat zoals eerder aangehaald de transistor is opgebouwd uit diodes. Ook al staat deze in doorlaat is er nog steeds een bepaalde spanning nodig om de sperlaag weg te werken, deze spanning bedraagt in ons geval 0,7 V.

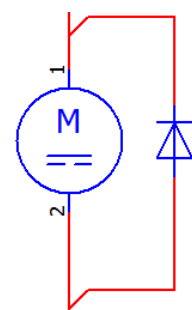
Darlingtonschakeling

In onze toepassing zal het niet voldoende zijn om een enkele transistor te gebruiken, daarom zullen we dus gebruik maken van een combinatie van verschillende transistoren. In onze lessen hebben we drie soorten combinaties besproken: de NPN-darlington, de PNP-darlington en de pseudodarlington. In onze toepassing zullen we gebruik maken van de NPN-darlington omdat dit voor ons de meest vanzelfsprekende was.

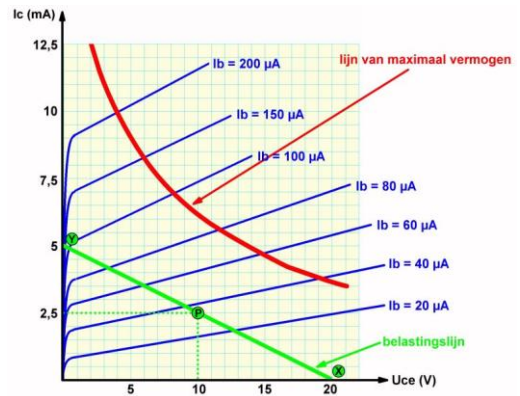


Toepassing in de praktijk

Hierin worden de collectoren met elkaar verbonden en allebei aangesloten op de voedingsspanning, in ons geval 12 V, tussen de +12V en de collector wordt de pomp geplaatst. De base van de bovenste transistor wordt aangesloten op de Arduino, met een weerstand ertussen om zo de gewenste stroom te kunnen bepalen. De emitter van de bovenste (het versterkte signaal) wordt verbonden met de base van de onderste, zo wordt het al reeds versterkte signaal nogmaals versterkt. De emitter van de onderste wordt verbonden met de negatieve pool van de bronspanning. Om ervoor te zorgen dat de darlingtonschakeling niet stuk gaat, plaatsen we nog een diode parallel over de pomp. Het gevaar is namelijk enkel bij inductieve verbruikers, de pomp is daar één van. De pomp zal bij het uitschakelen van de



kring een spanning opwekken die zijn ontstaansoorzaak tegenwerkt, omdat de stroom dan nul zal bedragen in de kring, zal de spanning dus zeer hoog worden, te hoog voor de transistoren. Om de juiste transistoren te kiezen moeten we ook rekening houden met het maximumvermogen dat ze aankunnen, de P_{Dmax} genaamd. Deze komt voor uit de spanning over de diode in de transistor, de saturatiespanning. Als we deze vermenigvuldigen met de stroom die er dan nog vloeit, bekomen we het vermogen. Deze moet onder het maximale dissipatievermogen liggen en dat kunnen we makkelijk illustreren met een grafiek. In de grafiek zullen we dan eerst en vooral de vermogenshyperbool tekenen, dit voor elk voltage, daarna plaatsen we het maximale vermogen op de grafiek. Zien we dat deze 2 snijden, is het niet de goede transistor, blijft de vermogenshyperbool echter onder het maximale vermogen, dan zitten we safe.



6.9.6. De MOSFET

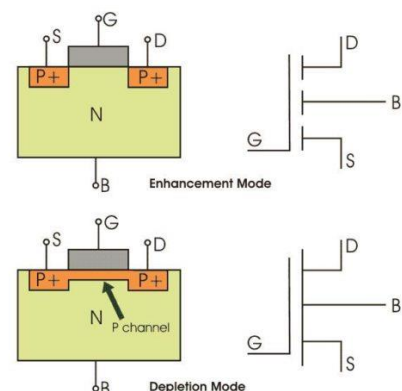
Onderverdeling

De MOSFET, afkorting voor Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor is een spanningsgecontroleerde transistor. De MOSFET is een onderverdeling van de familie FETs (Field Effect Transistor), deze zijn anders dan de reeds besproken transistoren, de FETs hebben namelijk maar een enkele PN-overgang. Deze hebben doorgaans ook drie aansluitingen: de stuur-elektrode, afvoerelektrode en bron. Soms kan er een vierde aansluiting zijn, deze heet de substrate, deze wordt dan doorverbonden met de bron.

Transistors				
FET (Field Effect Transistor)				
Verbeterde transistor met weinig vermogensdissipatie Gebruikt als versterker en vermogens-schakel transistor.				Hoog elect (Vari
J-FET (Junction Field Effect Transistor)		MOSFET (Metal Oxide Silicium Field Effect Transistor)		
Depletion		Depletion	Enhancement	
N-channel	P-Channel	N-Channel	N-Channel	P-Channel

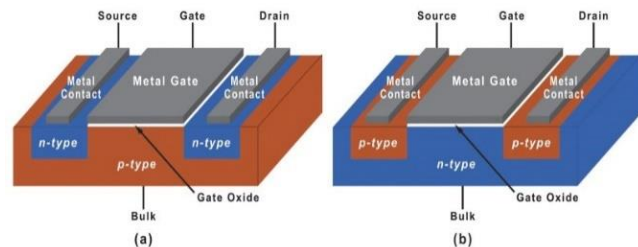
Opbouw algemene MOSFET

Bij de MOSFET is de stuur-elektrode geïsoleerd tegenover het kanaal door een dunne laag SiO_2 (glas of zand), deze stof wordt ook gebruikt in condensatoren. Door die laag ontstaat er dus bijna een oneindig grote ingangsimpedantie, hierdoor zal er dus geen stroom vloeien tijdens het gebruik, enkel bij in- en uit schakelen. Er komen twee types MOSFETs voor: de verarmings-MOSFET (depletion mode) en de verrijgings-MOSFET (enhancement mode). De verarmings-MOSFET gedraagt zich als een normaal gesloten schakelaar en de verrijgings-MOSFET als een normaal open. Per type bestaat er dan nog een onderverdeling, namelijk als het kanaal binnen in de MOSFET van het N- of P-type is, de N en P hebben dezelfde betekenis als bij de diode.



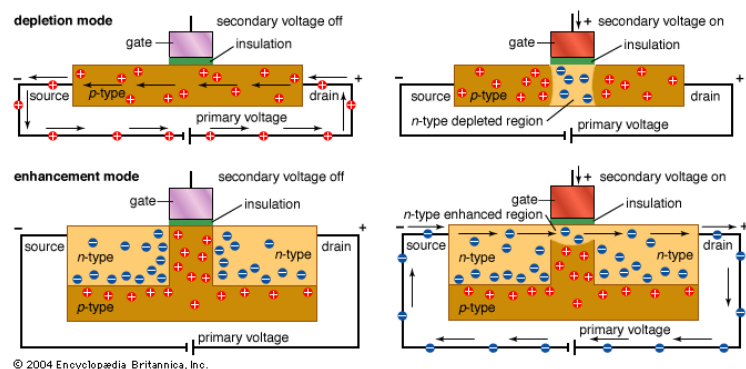
P-type en N-type

Aan het symbool van de MOSFET kun je zien of je te maken hebt met een N- of P-type, en dit aan de hand van het pijltje. Bij een N-type wijst het pijltje naar de verticale streep en bij een P-type wijst het ervan weg. Bij onze GIP wordt er gebruik gemaakt van het N-type verrijkings-MOSFET omdat dit een zeer courant type is. Het verschil tussen deze en de gewone NPN-darlington is dat de darlington stroomgestuurd is en de MOSFET spanningsgestuurd. Bij de opbouw vertrekt men met een P-type substraat, twee zones hierin worden verontreinigd zodat er zich lokaal N-kristallen vormen. De afstand tussen deze twee kristallen tezamen met de dikte van het oxide bepaalt de weerstand van het kanaal.



Gebruik van het P-type voor onze GIP

In ons type is er dus zoals reeds al vermeld hierboven, geen geleiding in de rusttoestand, deze geleiding moet namelijk gecreëerd worden. Er moeten dus onder de stuur elektrode elektronen vrijgemaakt worden. Als er op de stuur elektrode een positieve spanning wordt geplaatst tegenover de bron, zullen er door de spanningsbron elektronen naar het substraat gebracht worden. Aan de stuur elektrode zal er dus een positieve veldsterkte gecreëerd worden, hierdoor zullen de elektronen worden aangetrokken. Aangezien de elektronen niet doorheen het oxide kunnen, stapelen ze zich op tussen de twee N-kristallen waardoor er dus een geleidend kanaal ontstaat. De gaten in het P-type zullen worden weggeduwd door de heersende positieve veldsterkte. Ook zullen de elektronen van de gedoteerde kristallen aangetrokken worden tot de stuur elektrode, hierdoor zal de geleiding nog toenemen. Kortom, sluiten we een positieve spanning aan op de stuur elektrode ten opzichte van de bron, worden de depletie lagen binnenin de MOSFET weggewerkt. Sluiten we echter een negatieve spanning aan op de stuur elektrode tegenover de bron, worden de depletie lagen groter waardoor ook dus de weerstand groter wordt en de geleiding kleiner. Wij zullen de MOSFET gebruiken als schakelaar, dus moet er ook met sommige waarden rekening gehouden worden. Zoals de maximale spanning, vermogen... deze zijn redelijk gelijklopend met de waarden van de transistoren: ze worden op dezelfde manier weergegeven in grafieken en op dezelfde manier bepaald.

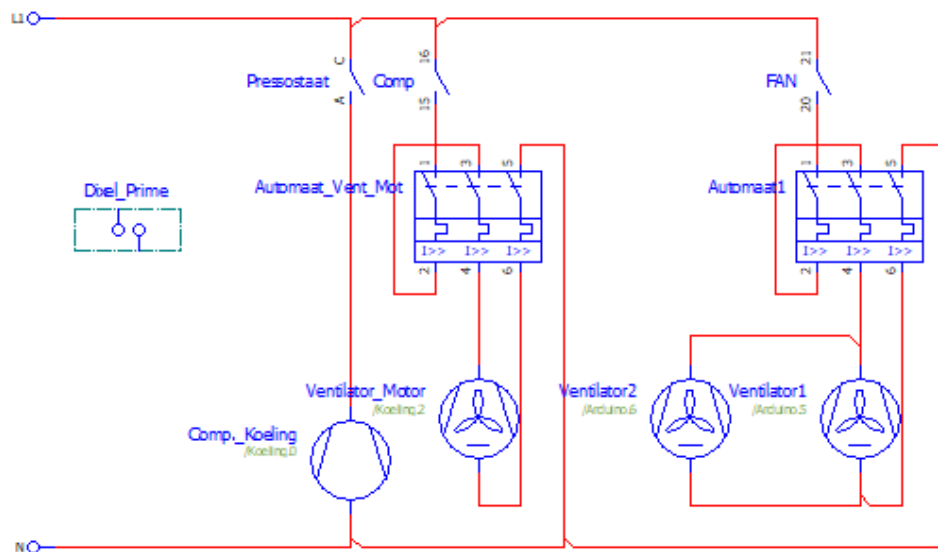
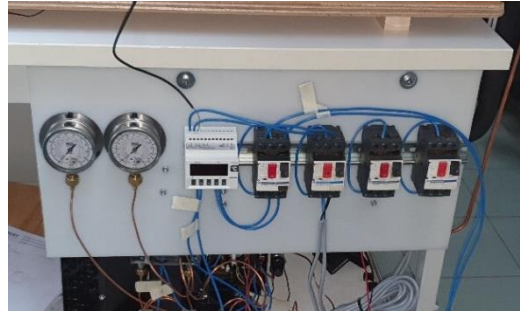


© 2004 Encyclopædia Britannica, Inc.

6.9.7. schakeling koelsysteem

Schakeling

Bij het koelsysteem maken we gebruik van een compressor, 3 ventilatoren, waarvan 1 om de warmte van de compressor af te voeren en de 2 andere om de gekoelde lucht te verspreiden boven de verdamper. Ook maken we gebruik van een over- en onderdrukveiligheid en automaten. Daarnaast hebben we een thermostaat om alles te regelen en een bijhorende temperatuursensor. De thermostaat wordt verbonden met de externe +230 V, op deze component sluiten we alles aan, startend met de temperatuursensor. Daarnaast zitten ook de 2 ventilatoren voor de verdamper op de thermostaat aangesloten, deze worden aangesloten met een automaat tussen om ze in en uit te kunnen schakelen. Op deze manier is het mogelijk om de invloed van deze ventilatoren te bestuderen. De ventilator voor de compressor wordt op een aparte poort op de thermostaat aangesloten, ook weer met een automaat tussen om de invloed te kunnen bestuderen. Dan komt de compressor, deze wordt nog eens apart gevoed aan de hand van de externe +230 V, deze component wordt ook aangesloten op de thermostaat, maar met een over- en onderdrukveiligheid ertussen.



thermostaat

De thermostaat die we bij het koelsysteem gekregen hebben (met dank aan Jasper Timmerman) is een Dixell XR60D, met deze component kan alles geregeld worden. Met deze thermostaat kun je alles van ons koelsysteem regelen: compressor, verdamper, condensor en ventilatoren. De thermostaat zelf hebben we ingesteld op een minimumtemperatuur. Deze blijft boven de nul graden Celsius, omdat we geen ontdooifunctie hebben in ons systeem. Ook hebben we een tijdsinterval en gradeninterval ingesteld, zo schakelt de compressor niet steeds in en uit, maar schakelt hij in na bijvoorbeeld minimaal een minuut, op voorwaarde dat de temperatuur opnieuw twee graden boven de minimale temperatuur zit. Verder gebruiken wij de thermostaat niet, omdat we alles wat we nodig hebben voor onze berekeningen kunnen meten met onze temperatuursensoren.



7. Elektronische studie

7.1. Programma's

Het volledige programma bevindt zich in het bijlagendossier, dit om een duidelijker beeld te scheppen. In dit deel leggen we kort uit hoe we het aangepakt hebben en wat de bedoeling is van ons programma.

7.1.1. Doel

Meting

Het was van bij het begin de bedoeling een nulwoning te maken, daar komt natuurlijk wel wat programmeerwerk bij kijken. Enerzijds om alles zo energiezuinig te laten verlopen, maar ook om alles te automatiseren. Om dit te kunnen realiseren is het dus wel nodig dat we elke plaats in het huis en de onderdelen naast het huis zoals de zonnecollector, het vat, de leidingen en de temperatuur kennen om hiermee aan de slag te gaan. Hiervoor hebben we de standaard DS18B20 temperatuursensoren gebruikt. Deze hebben we op de Arduino aangesloten aan de hand van een bussysteem. Om alle sensoren apart te kunnen uitlezen hebben we eerst een vooral het hexadecimaal adres bepaald van elke sensor met een standaardprogramma van Arduino, namelijk "DS18B20-Temperature" terug te vinden in de code hieronder.

```
#include <OneWire.h>

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
}

void loop(void) {
  byte i;
  byte present = 0;
  byte type_s;
  byte data[12];
  byte addr[8];
  float celsius, fahrenheit;
  if ( !ds.search(addr) ) {
    Serial.println("No more addresses.");
    Serial.println();
    ds.reset_search();
    delay(250);
    return;
  }
  Serial.print("ROM =");
  for( i = 0; i < 8; i++) {
    Serial.write(' ');
    Serial.print(addr[i], HEX);
  }
  if (OneWire::crc8(addr, 7) != addr[7]) {
    Serial.println("CRC is not valid!");
    return;
  }
  Serial.println();
  // the first ROM byte indicates which chip
  switch (addr[0]) {
    case 0x10:
      Serial.println(" Chip = DS18S20"); // or old DS1820
      type_s = 1;
      break;
    case 0x28:
      Serial.println(" Chip = DS18B20");
      type_s = 0;
      break;
    case 0x22:
      Serial.println(" Chip = DS1822");
      type_s = 0;
      break;
    default:
```



```

    Serial.println("Device is not a DS18x20 family device.");
    return;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44, 1); // start conversion, with parasite power on at the end
delay(1000); // maybe 750ms is enough, maybe not
// we might do a ds.depower() here, but the reset will take care of it.
present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE); // Read Scratchpad
Serial.print(" Data = ");
Serial.print(present, HEX);
Serial.print(" ");
for ( i = 0; i < 9; i++) { // we need 9 bytes
    data[i] = ds.read();
    Serial.print(data[i], HEX);
    Serial.print(" ");
}
Serial.print(" CRC=");
Serial.print(OneWire::crc8(data, 8), HEX);
Serial.println();
// Convert the data to actual temperature
// because the result is a 16 bit signed integer, it should
// be stored to an "int16_t" type, which is always 16 bits
// even when compiled on a 32 bit processor.
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
if (type_s) {
    raw = raw << 3; // 9 bit resolution default
    if (data[7] == 0x10) {
        // "count remain" gives full 12 bit resolution
        raw = (raw & 0xFFFF0) + 12 - data[6];
    }
} else {
    byte cfg = (data[4] & 0x60);
    // at lower res, the low bits are undefined, so let's zero them
    if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7; // 9 bit resolution, 93.75 ms
    else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3; // 10 bit res, 187.5 ms
    else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1; // 11 bit res, 375 ms
    //// default is 12 bit resolution, 750 ms conversion time
}
celsius = (float)raw / 16.0;
fahrenheit = celsius * 1.8 + 32.0;
Serial.print(" Temperature = ");
Serial.print(celsius);
Serial.print(" Celsius, ");
Serial.print(fahrenheit);
Serial.println(" Fahrenheit");
}

```

In dit programma kun je van elke sensor de unieke code inlezen, dit is een voordeel omdat je op deze manier gemakkelijk elke sensor kan oproepen in je programma, zo kun je ze ook allemaal benoemen en zullen er nooit sensoren worden omgewisseld. Als we alle temperaturen kunnen inlezen, kunnen we dus ook de nodige metingen uitvoeren, dit in samenwerking met twee debietmeters. Het is de bedoeling om zo rap mogelijk op te warmen in het huis, dus moeten we weten onder welk debiet (in functie van de spanning) dit het snelst gaat. Deze meting wordt gedaan in Excel aan de hand van een "PLX-DAQ (<https://www.parallax.com/package/plx-daq/>)".

Om een zo een precies mogelijk debiet te hebben nemen we een gemiddelde van over de gehele meting en dit doen we telkens met een ander voltage totdat we de optimale situatie gevonden hebben.

Sturing

Het is dus de bedoeling om in ons programma te werken met de temperaturen om dan de zonnecollector in en uit te schakelen aan de hand van de temperaturen. Ook is het de bedoeling elke pomp apart te sturen. Als het in het huis warm genoeg is, mag de pomp van het huis stoppen met pompen totdat het huis terug is afgekoeld. Als het vat of de zonnecollector warm genoeg is mag de pomp van de zonnecollector stoppen met pompen. Op deze manier hopen we op een zo een hoog mogelijk rendement. We willen ook nog een stap verder gaan en het debiet van de pompen aanpassen met ons programma, dit willen we doen aan de hand van pulsen. We willen dus kunnen ingeven welk debiet moet aangehouden worden en dan het programma dit debiet laten aanhouden, zodat het volledig automatisch verloopt.

7.1.2. Uitleg programma

Sensoren

We geven eerst en vooral weer op welke twee poorten de bussen terug te vinden zijn, namelijk vier en zeven. De poorten zijn OneWire-bussen die standaard terug te vinden zijn in Arduino. Daarna benoemen we ook enkele integers en sommige hiervan zijn tellers, deze worden op nul gezet.

```
#include <OneWire.h>
OneWire ds1(7); //OneWire bus on pin D7
OneWire ds2(4); //OneWire bus on pin D4
int deviceCount = 0;
int i = 0;
```

Hierna komt de benoeming van de sensoren, dit aan de hand van een constante met een ruimte van acht bit namelijk de "const uint8_t". Eerst plaatsen we dan de te wensen naam van de sensoren en daarna de hexadecimale code.

```
const uint8_t tempSens1[] = {0x28, 0x1F, 0x90, 0x79, 0x97, 0x11, 0x3, 0x75}; //huis verwarming grote kamer
const uint8_t tempSens2[] = {0x28, 0x29, 0x6E, 0x45, 0x92, 0xF, 0x2, 0x2F}; //water in zonnecollector
const uint8_t tempSens3[] = {0x28, 0xA3, 0xCA, 0x79, 0x97, 0x11, 0x3, 0x27}; //water uit huis
const uint8_t tempSens4[] = {0x28, 0xCA, 0x77, 0x45, 0x92, 0x18, 0x2, 0x52}; //huis verwarming middelgrote kamer
const uint8_t tempSens5[] = {0x28, 0xFF, 0x3B, 0x4B, 0x71, 0x17, 0x3, 0xEC}; //huis verwarming kleine kamer

const uint8_t tempSens6[] = {0x28, 0x3A, 0xC9, 0x45, 0x92, 0x10, 0x2, 0xBB}; //water uit zonnecollector
const uint8_t tempSens7[] = {0x28, 0xFF, 0x73, 0x9F, 0xC0, 0x17, 0x1, 0x9F}; //water in huis
const uint8_t tempSens8[] = {0x28, 0xFF, 0xE3, 0xBB, 0xA2, 0x16, 0x4, 0x47}; //sensor vat (water)
const uint8_t tempSens9[] = {0x28, 0xB1, 0x8F, 0x45, 0x92, 0x18, 0x2, 0xAA}; //sensoren koeling
const uint8_t tempSens10[] = {0x28, 0x3E, 0x43, 0x45, 0x92, 0x17, 0x2, 0x7F}; //sensoren koeling
```

Daarna converteren we deze ingelezen waarden naar een float. Deze kan de waardes van $3.4028235E+38$ tot $-3.4028235E+38$ aannemen, dan maken we een float waarin deze tien sensoren gemakkelijk geplaatst zijn.

```
float temp1, temp2, temp3, temp4, temp5, temp6, temp7, temp8, temp9, temp10; //current temperatures
float temps[10];
```

Om te verbinden met de “PLX-DAQ ” geven we de commando “Serial.begin”. Tussen de haakjes van de “Serial.begin” staat een getal, dit getal staat voor hoeveel bits per seconde doorgegeven worden. Dit getal moet overeenkomen met het getal (omcirkeld op foto) in het Excelbestand. Daarna geven we de commando “CLEARSHEET”. Dat is omdat we op deze manier telkens met een nieuwe meting kunnen starten zonder dat er nog een oude meting tussenstaat.

```
Serial.begin(9600);
Serial.println("CLEARSHEET"); // maak het Excel blad schoon
```

Nadat dit is gebeurd, kunnen we de kolommen in Excel gaan benoemen om gemakkelijk weer te vinden waar wat staat en zo ook gemakkelijker berekeningen kunnen uitvoeren.

```
Serial.println("LABEL,DATE,TIMER,Huis G, In Col., Uit Huis, Huis M, Huis K, Uit Col., In Huis, Vat, Koeling L, Koeling H,debietVAT,
debietHUIS,PWMVAT,PWMHUIS,");
```

Hierna kunnen we alle sensoren uitlezen en weergeven in Excel. Dit doen we om de seconde, dit om alles overzichtelijk te houden en op deze manier zullen we ook minder kans hebben op uitschieters, omdat we ze op deze manier kunnen identificeren en zo er kunnen van tussen laten. In dit stuk worden ook het debiet en de PWM weergegeven.

```
void readSensors() {
  interrupts();

  uint8_t dataBuff[9];

  uint8_t addrBuff[8];

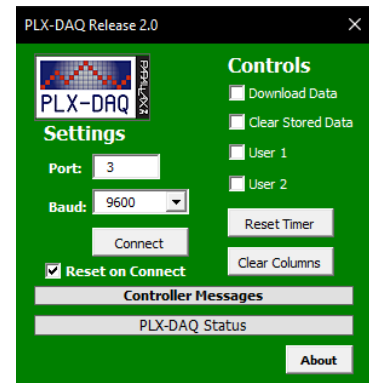
  if (millis() > currentTime + interval1) {

    for (uint8_t device = 0; device < 10; device++) {
      ds1.reset();
      ds2.reset();

      switch (device) {
        case 0: ds1.select(tempSens1);
                break;
        case 1: ds1.select(tempSens2);
                break;
        case 2: ds1.select(tempSens3);
                break;
        case 3: ds1.select(tempSens4);
                break;
        case 4: ds1.select(tempSens5);
                break;
        case 5: ds2.select(tempSens6);
                break;
        case 6: ds2.select(tempSens7);
                break;
        case 7: ds2.select(tempSens8);
                break;
        case 8: ds2.select(tempSens9);
                break;
        case 9: ds2.select(tempSens10);
                break;
        default:
                break;
      }

      ds1.write(0xBE); //(omgezette waarde uitlezen)
      ds2.write(0xBE); //(omgezette waarde uitlezen)

      for (uint8_t i = 0; i < 10; i++) {
```



```

if (device < 5) {
  dataBuff[i] = ds1.read(); //readout 9 bytes (8+CRC)
} else {
  dataBuff[i] = ds2.read(); //readout 9 bytes (8+CRC)
}
}

if (dataBuff[8] == OneWire::crc8(dataBuff, 8)) {
  //debug the received information

  //convert the data to temperature
  int16_t curTemp = (dataBuff[1] << 8) | dataBuff[0];
  uint8_t conf = (dataBuff[4] >> 5) & 0x3;

  switch (conf) {
    case 0: //9-bit resolution
      curTemp = curTemp & ~7;
      break;
    case 1: //10-bit resolution
      curTemp = curTemp & ~3;
      break;
    case 2: //11-bit resolution
      curTemp = curTemp & ~1;
      break;
    default: //12-bit resolution
      break;
  }
  temps[device] = float(curTemp) / 16.0;
}
}

Serial.print("DATA,DATE,TIMER,");
for (uint8_t curSens = 0; curSens < 10; curSens++) {
  Serial.print(temps[curSens]);
  if (curSens < 9) {
    Serial.print(",");
  } else {
    Serial.print(",");
    Serial.print(count2); //Print the variable flowRate to Serial
    Serial.print(",");
    Serial.print(count4);
    Serial.print(",");
    Serial.print(d);
    Serial.print(",");
    Serial.print(f);
    Serial.print(",");
    Serial.println();
  }
}

dataBuff[0] = 0xCC; //skip ROM, so call all addresses on bus
dataBuff[1] = 0x44; //convert temperature to scratchpad
ds1.reset();
ds1.write_bytes(dataBuff, 2); //write to scratchpad
ds2.reset();
ds2.write_bytes(dataBuff, 2); //write to scratchpad
delay(10); //wait for 10ms
currentTime = millis();
}
}
}

```

In dit stuk code lezen we ook elke sensor uit en zetten we die om in graden. Deze omzetting moet zeker nog gebeuren omdat we eerst alle waarden in een float gestopt hebben, daardoor moet alles nog door zestien gedeeld worden. Daarna geven we ze weer. Dit doen we aan de hand van een for-lus die we tien keer doorlopen.

Debietmeters

Het type debietmeter dat wij gebruiken is de “Water Flow Sensor YF-S201. Eerst en vooral moeten we de pinnen aanduiden waarop de debietmeters zijn aangesloten, dit werkt in ons geval enkel op pin twee en drie, dit komt omdat enkel deze pinnen geschikt zijn voor interrupts. Daarna plaatsen we de twee debietmeters op nul om op deze manier telkens bij elke meting opnieuw te kunnen starten. Als laatste geven we ze terug in het Excelbestand en dit in het else- gedeelte van de for-lus voor de sensoren. De debietmeters en temperatuursensoren geven we om de seconde weer.

```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), ISR_Flow, RISING); //Configures interrupt 0 (pin 2 on the Arduino Uno) to run the function "Flow"
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), ISR_flow, RISING);
pinMode(flowPin, INPUT); //Sets the pin as an input
pinMode(flowpin, INPUT);
```

```
void ISR_Flow()
{
  count++; //Every time this function is called, increment "count" by 1
}
void ISR_flow()
{
  count3++;
}
```

De code waarin we ze om de seconde weergeven werd al geplaatst in het deeltje van de temperatuursensoren. Om ervoor te zorgen dat het debiet wordt weergegeven, wordt onderstaande berekening uitgevoerd.

```
count2 = (count / (millis()/1000));
count4 = (count3 / (millis()/1000));
```

Sturingen

Het in- en uitschakelen van de pompen gebeurt aan de hand van relais, die worden gestuurd via onze Arduino. Dit wordt in het programma gedaan aan de hand van een if-else-lus. We geven in het programma in dat wanneer de gemeten temperatuur boven de gewenste temperatuur stijgt, het programma automatisch het relais dat de pomp bestuurt, uitschakelt.

```
if(temps[7] > 75){
  digitalWrite(11, HIGH);
}
else{
  digitalWrite(11, LOW);
}
if(temps[1],temps[5] > 75){
  digitalWrite(13,HIGH);
}
else{
  digitalWrite(13,LOW);
}
if(temps[0],temps[2],temps[3] > 26){
  digitalWrite(10, HIGH);
}
else{
  digitalWrite(10, LOW);
}
```

Om het debiet van de pompen geautomatiseerd te doen verlopen, maken we gebruik van een PWM-sturing.

```
if(count2 < 19){  
  d++;  
}  
else{  
  d--;  
}  
if(count4 < 19){  
  f++;  
}  
else{  
  f--;  
}  
analogWrite(6, f);  
analogWrite(5, d);
```

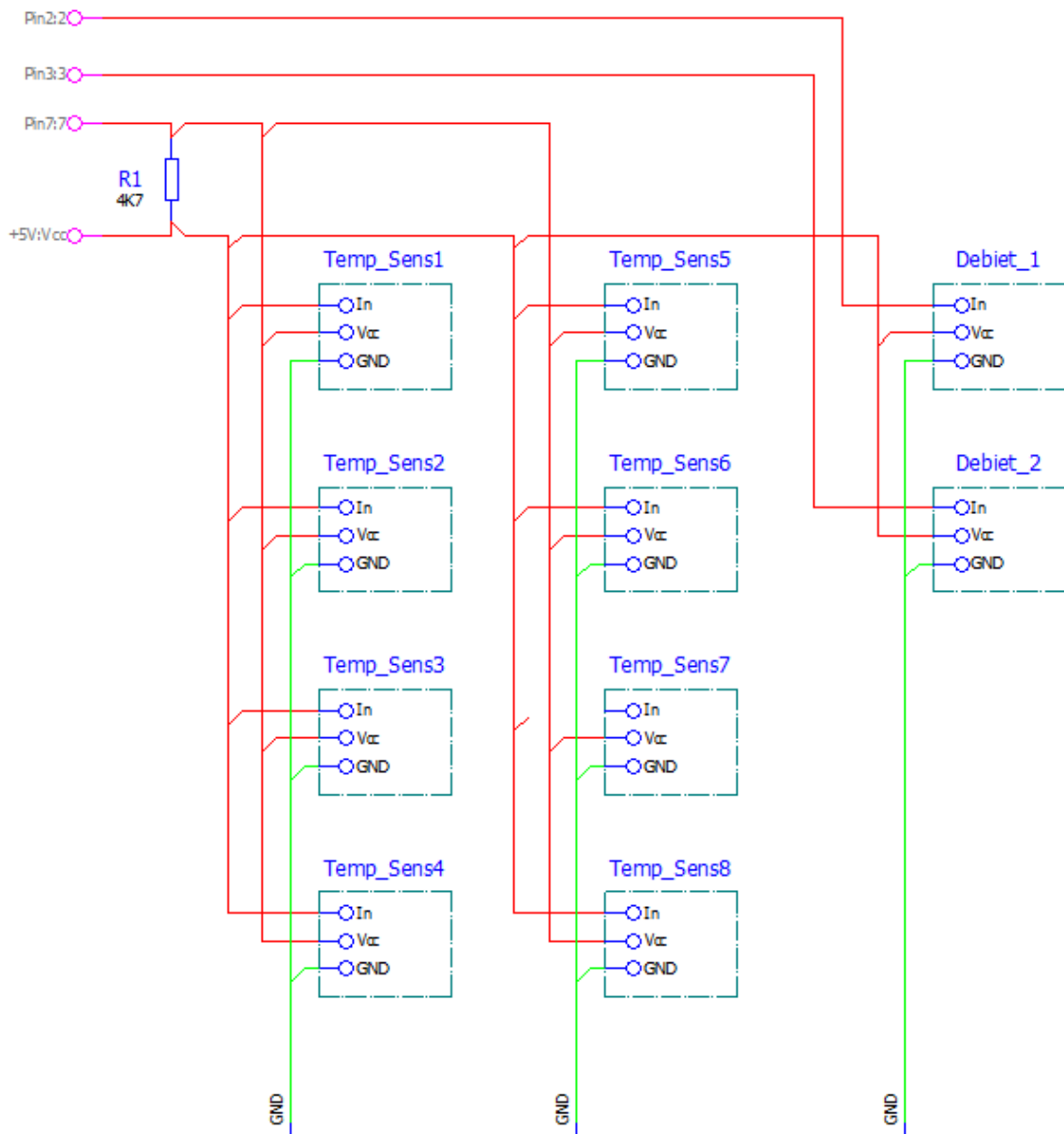
Deze PWM-waarde die in de Arduino Uno zit, wordt dan doorgegeven aan de MOSFET en zo kunnen we het debiet regelen. We maakten twee integer variabelen aan, deze stellen we in het begin gelijk aan nul (voor de volledigheid). Dankzij onze voorafgaande metingen weten we hoeveel het debiet precies moet bedragen, maar hoe realiseren we dit nu? We meten telkens het gemiddelde debiet per seconde en het is op deze waarde dat we ons baseren. Wanneer de gemiddelde debietwaarde per seconde lager is, verhogen we de PWM-waarde. Deze waarde kan variëren tussen 0 en 255. Wanneer het debiet te hoog is, verlagen we deze waarde.

7.1.3. Schema's

Blokschema



Elektrisch schema



8. Biologische studie

8.1. Legionella

8.1.1. Ziekteverschijnselen

Bij legionella heb je 2 vormen van ziek worden: een legionella pneumonie en pontiackoorts. De kans dat deze 2 tegelijk bij een persoon voorkomen, is heel klein.

Legionella pneumonie (legionella longontsteking)

Kan klinisch niet onderscheiden worden van een normale longontsteking veroorzaakt door andere verwekkers. De diagnose kan enkel bevestigd worden door microscopisch onderzoek.

De ziekte gaat vaak gepaard met een niet-productieve hoest met pijn op de borst. Bij 60% van de gevallen zijn er ook neuropsychologische stoornissen (hoofdpijn, lethargie, verwardheid), 25% gaat gepaard met diarree, 20% met misselijkheid en/of braken. Pleuritis (ontstoken longvlies dat pijn geeft bij ademen) en hyponatriëmie (tekort aan natrium in het bloed) zijn beschreven bij legionella.

Een legionella pneumonie leidt relatief vaak tot ziekenhuisopname en verblijf op intensieve zorgen. Het aantal sterfgevallen bij deze ziekte loopt op 20%. Revalidatie hiervan kan maanden tot jaren duren. Het komt wel niet zo vaak voor bij de populatie (tussen 0,1 en 5%).

Pontiackoorts

Na een korte incubatieperiode van 36-48 uur krijgen de patiënten acute griepelijke verschijnselen (koude rillingen, hoofdpijn, spierpijn, algehele malaise). Er zijn geen tekenen van een longontsteking bij deze soort en een spontaan herstel treedt op na 2-7 dagen.

8.1.2. Fysieke eigenschappen



Legionella pneumonie is de soort van legionella die het meest voorkomt. De beste temperatuur voor legionella ligt tussen de 20-50°C zoals u kunt zien hieronder.

De legionellabacterie kan bij volgende temperaturen voorkomen:

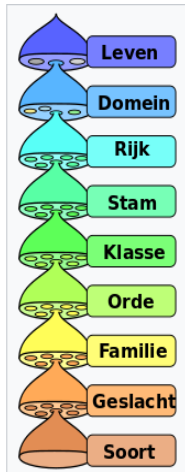
- * 70 tot 80 °C: totale doding van de legionellabacterie
- * 66 °C: legionellabacterie sterft binnen 2 minuten
- * 60 °C: legionellabacterie sterft binnen 32 minuten
- * 55 °C: legionellabacterie sterft binnen 5 tot 6 uur
- * 50 °C: legionellabacterie kan overleven, maar vermenigvuldigt zich niet

Domein	bacteriën
Rijk	bacteria
Stam	proteobacteria
Klasse	gamma proteobacteria
Orde	legionellales
Familie	legionellaceae
Geslacht	legionella

* 35 tot 46°C: ideale temperatuur voor legionellabacterie om zich te vermenigvuldigen

* 20 tot 50°C: legionellabacterie is in staat om te groeien

* 20°C: legionellabacterie kan overleven, maar de bacterie is niet actief.



8.1.3. Taxonomie

Taxonomie is de biologische vakwetenschap die zich bezighoudt met het vinden, onderscheiden, beschrijven, benoemen en indelen van alle soorten organismen. Het indelen gebeurde vroeger vooral op overeenkomstige kenmerken, maar tegenwoordig gebeurt dit ook op basis van DNA.

De meest eenvoudige manier van indelen in de taxonomie is het indelen in domeinen. Er zijn 3 domeinen: bacteriën, archaea, eukaryoten. Deze splitsen dan zo steeds verder op.

Het verschil tussen de drie is dat bacteriën en archaea geen celkern hebben, eukaryoten wel. Het verschil tussen bacteriën en archaea is het celmembraan. Bij bacteriën en eucaryoten treffen we een dubbel celmembraan aan en bij archaea een enkel.

De indeling van legionella in de taxonomie is:

9. Materiaalleer

9.1. Isoleren van onze nulwoning

9.1.1. Omschrijving

Er komt heel wat kijken bij het isoleren van een woning. Zeker bij een energieneutrale woning is isolatie heel belangrijk. Wij gebruiken zowel voor de vloer, de muren als het dak XPS-isolatie.

9.1.2. Soorten isolatie

Isolatie kan je indelen volgens grondstof, uitvoering of doel.

9.1.3. Indeling volgens grondstoffen

Minerale isolatie

Minerale isolatie kan bestaan uit gesmolten mineralen of gesteente zoals sintel of keramiek of uit gesponnen draden van gerecycleerd glas (uitgezonderd rotswol). Die wol kan je laten inblazen in bv. spouwmuren, maar de woldraden worden ook samengeperst of gesmolten tot isolatiedekens en isolatieplaten. Je kan kiezen uit de volgende soorten minerale isolatie.

* Glaswol: dit is 1 van de meest gebruikte isolatiematerialen binnenshuis (gemaakt van gerecycleerd glas en zand). Glaswoldekens en gespoten glaswol zijn bv. ideaal om hellende daken aan de binnenkant te isoleren. Maar ook plafonds, houten vloeren en binnenmuren kan je isoleren met glaswol.

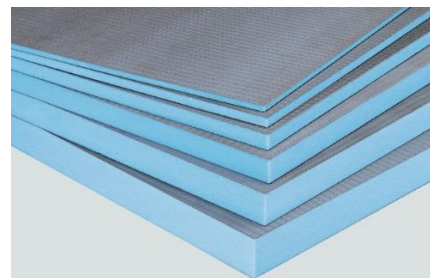
* Rotswol: met deze minerale wol (gemaakt van gesmolten vulkanisch gesteente) kan je zowel daken, muren als vloeren isoleren. Rotswol (ook steenwol genoemd) zorgt voor een even goede thermische isolatie als glaswol én zelfs voor een nog betere geluidsisolatie.

* Cellenglasisolatie: isolatiespecialisten gebruiken platen of blokken van cellenglas (gemaakt van gerecycleerd glas en een aantal hulpstoffen) voor de isolatie van vochtige omgevingen als kelders, platte daken, groendaken en gevels. Cellenglas is namelijk damp- en waterdicht en heeft een levensduur van meer dan 50 jaar.

Kunststoisolatie

Kunststofisolatie omvat vooral chemische (hard)schuimen op basis van aardolie als PUR, PIR, EPS, XPS... Die zijn verkrijgbaar als harde, drukvaste isolatieplaten, maar ook als spuitisolatie (PUR) of zelfs in de vorm van isolatiechips (EPS).

Enkele voorbeelden:



XPS-isolatieplaat

* PUR-isolatie: dit is de meestgebruikte kunststofisolatie. Je kan polyurethaan (PUR)-isolatie gebruiken om zowel je dak, (zolder)vloer, kelder als muren te isoleren. Dit hardschuim is verkrijgbaar in de vorm van harde isolatieplaten en als spuitisolatie.

* PIR-isolatie: PIR-isolatie lijkt op PUR-isolatie qua structuur, maar isoleert nog beter op thermisch vlak. Daardoor haal je met een geringere dikte een even goede of zelfs betere isolatiewaarde dan bij andere kunststofisolatie. PIR-isolatie is een goede keuze voor het isoleren van spouwmuren, platte daken, hellende daken en ook vloeren. Het is verkrijgbaar in isolatieplaten en als spuitisolatie.

* EPS-isolatie: EPS staat voor 'geëxpandeerd polystyreen', maar is beter bekend als piepschuim. EPS-isolatie is goedkoop, ongevoelig voor vocht en makkelijk te verwerken. Je kan dit lichte hardschuim verkrijgen als isolatieplaten (vloeren, muren en daken), maar ook als parels (spouwmuur) en isolatiechips (koude, vochtige kelderbodem).

* XPS-isolatie: XPS staat voor 'geëxtrudeerd polystyreen' en is enkel verkrijgbaar in plaatvorm. Deze drukvaste platen zijn ideaal om je (spouw)muren, dak, kelder en ook vloeren te isoleren.

* Polyethyleen-isolatie: deze kunststof isolatie dient vooral als geluidsisolatie voor vloeren. Daarnaast gebruiken vakmannen het ook als vulmateriaal en als randisolatie. Polyethyleen-isolatie is beschikbaar op rollen, platen en in buisvorm.

Ecologiesche isolatie



Wil je je woning isoleren zonder het milieu te belasten? Dan kan je ook kiezen voor ecologische isolatie op basis van natuurlijke, onuitputbare én recycleerbare grondstoffen. Bovendien is weinig energie nodig bij het productieproces. Enkele voorbeelden op een rij:

* papiervlokken (cellulose): cellulose-isolatie is gemaakt van gerecycleerd krantenpapier, je kan een naadloze laag van deze vlokken laten inblazen voor de isolatie van daken, spouwmuren en vloeren;

* schapenwol: isolatiedekens van schapenwol zijn ideaal om holle ruimtes op te vullen in een houtskeletbouw (daken, wanden en vloeren), dit materiaal is vochtabsorberend en valt bovendien veilig en makkelijk te verwerken;

* houtwol: net als schapenwol heeft ook houtwol een groot vochtregulerend vermogen en een hoge warmteopslagcapaciteit, het gebruikte hout is afkomstig van duurzaam beheerde bossen.

Met houtwoldekens en houtvezelplaten kan je gemakkelijk en vlot daken, vloeren en muren isoleren.

9.1.4. Indeling volgens uitvoering

Isolatiedekens

Isolatiedekens zijn relatief goedkope en praktische uitvoeringen van isolatie. Ze zijn namelijk erg flexibel, waardoor je ze ook kan gebruiken bij een ongelijke ondergrond. Je kan isolatiedekens vlot op maat (laten) snijden om ze dan op het te isoleren oppervlak te plaatsen.

Isolatieplaten

Verschillende isolatiematerialen zijn ook verkrijgbaar in de vorm van drukvaste isolatieplaten. Ook dergelijke platen kunnen isolatiespecialisten op maat snijden om ze dan vlot te plaatsen op het te isoleren oppervlak

Spuitisolatie

Spuitisolatie is de eenvoudigste manier om te isoleren. Een isolatiespecialist hoeft geen dekens of platen op maat te snijden, hij spuit het isolatiemateriaal gewoon met een pistool op het te isoleren oppervlak. Daardoor gaat de plaatsing sneller en spaar je arbeidskosten uit.



Inblaasisolatie

Naast spuiten kan je bepaalde isolatiematerialen ook laten inblazen. Het principe is gelijkaardig, maar inblaasisolatie is milieuvriendelijker dan spuitisolatie.

9.1.5. Indeling volgens doel

Thermische isolatie

Thermische isolatie zorgt ervoor dat de warmte niet zomaar uit je woning ontsnapt. Zo bespaar je op je stookkosten en geniet je van een constante binnentemperatuur. Ook je uitstoot van CO2 daalt dankzij een optimale thermische isolatie. Goed voor je portemonnee én het milieu dus.

* Thermische dakisolatie: je kan thermische dakisolatie laten plaatsen aan de binnen- of de buitenkant van je dakconstructie. Gebruik je je zolder niet als leefruimte? Dan kan je ook je zoldervloer thermisch laten isoleren.

* Thermische raamisolatie: je kan je ramen thermisch isoleren met goed isolerende raamkaders en isolerende beglazing als hoogrendementsglas.

* Thermische vloerisolatie: heb je een kelder? Dan kan je je vloer thermisch laten isoleren langs onder (tegen het plafond van je kelder). Zo vermijd je breekwerken. Geen kelder in je woning? Dan kan je niet anders dan je vloer te isoleren langs boven.

* Thermische muurisolatie: heb je een spouwmuur? Dan kan je die laten (na)isoleren. Geen spouwmuur of is je spouwmuur niet geschikt voor na-isolatie? Dan kan je ook je buitenmuur thermisch isoleren. Ook je binnenmuur thermisch isoleren is een optie, maar dat wordt minder aangeraden.

Geluidsisolatie

Met geluidsisolatie kan je ook geluiden van buitenuit (buren, auto's ...) weren. Daarnaast kunnen geluidswerende isolatiematerialen ook de geluidsoverdracht van de ene ruimte in je woning naar de andere verminderen (tv, schuivende stoelen...). Vaak gebruikte geluidsisolerende materialen zijn glaswol, polyethyleen, rotswol...

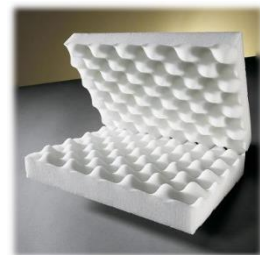
* Geluidsisolatie muur: bij een geluidsisolerende muur gaat het meestal om een voorzetwand. Een vakman plaatst dan een frame tegen de binnenmuur waarop hij bv. glaswol aanbrengt. Daarna werkt hij het frame af met gipsplaten.

* Geluidsisolatie vloer: geluidsisolatie bij vloeren dient vooral om contactgeluiden te dempen (hoge hakken, schuivende stoelen ...). Het isolatiemateriaal hangt af van het soort vloer. Bij een houten vloeropbouw kan je de holle ruimte onder de planken bv. opvullen met glaswol. Bij een betonnen vloer is een dunne laag polyethyleen dan weer ideaal.

* Geluidsisolatie plafond: last van contactgeluiden vanuit de bovenverdieping? Of van de luide muziek van je kinderen? Een isolatiespecialist kan niet alleen tegen de binnenmuur, maar ook tegen je plafond een metalen of houten frame aanbrengen. Daar plaatst hij bv. glaswol tussen om daarna je plafond af te werken met gipsplaten.

Akoestische isolatie

Naast thermische en geluidsisolatie is er ten slotte ook nog akoestische isolatie. Dat is een vorm van interieurafwerking om de geluidswaarneming in een ruimte te verbeteren (bv. kantooruimtes, muziekstudio's...).



* Akoestisch spanplafond: een spanplafond met microperforaties kan geluidstrillingen absorberen. Bovenop het spanplafond komt ook nog een isolatielaag.

* Spanwand: muren kan je akoestisch isoleren met een spanwand. Dat is een egale afwerking die het geluid in een ruimte absorbeert.

* Akoestische panelen: vooral in kantoorruimtes hebben akoestische panelen nut. Je kan ze plaatsen tegen het plafond of de muur, maar je kan ze ook tussen 2 bureaus zetten.

9.1.6. Vergelijking lambdawaarde, Rd-waarde, Rc-waarde

Op de verpakking van isolatiemateriaal worden verschillende waarden genoemd. Deze vertellen je allemaal iets over de mate waarin een isolatiemateriaal in staat is om warmte en kou te weren.

lambdawaarde, Rd-waarde, Rc-waarde

De lambdawaarde is een getal dat aangeeft hoe goed een isolatiemateriaal warmte geleidt. Hoe lager de waarde, des te beter de isolatiewaarde is. Dat komt omdat warmte-isolatie als doel heeft om warmte vast te houden. Daarom willen we warmtegeleiding voorkomen en is een lage lambdawaarde beter dan een hoge waarde. De lambdawaarde heeft overigens niets te maken met de dikte van het isolatiemateriaal. Een EPS-plaat van 30 mm heeft dezelfde lambdawaarde als een EPS-plaat van 120 mm. De Rd-waarde van deze platen is wel anders.

De eenheid waarin de lambdawaarde wordt uitgedrukt is W/mK. Dit is het warmteverlies in watt per meter, per kelvin, temperatuurverschil tussen beide zijden van het isolatiemateriaal. Om de Rd- en Rc-waarde van je isolatie te berekenen heb je de lambdawaarde nodig. Deze wordt ook bij de specificaties van onze producten genoemd. Voor de lambdawaarde geldt; hoe lager de waarde, hoe beter het materiaal kan isoleren.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de meest courante isolatiematerialen en hun lambdawaarden.

Isolatiemateriaal	Afkorting	λ -waarde = lambdawaarde (W/mk)
Glaswol	MW	0,030 à 0,040
Rotswol	MW	0,033 à 0,043
Cellenglas	CG	0,036 à 0,050
Geëxpandeerd polystyreenschuim	EPS	0,033 à 0,042
Geëxtrudeerd polystyreenschuim	XPS	0,029 à 0,038
Polyurethaanschuim, polyisocyanuraat	PUR/PIR	0,019 à 0,027
Cellulose (papiervlokken)		0,035 à 0,040
Fenolformaldehydeschuim, resolschuim	PF	0,018 à 0,023

De Rd-waarde, ook wel R-waarde genoemd, geeft aan hoe goed een isolatiemateriaal van een bepaalde dikte thermisch isoleert. Hoe hoger deze waarde, hoe beter de thermische isolatie. De Rd-waarde wordt berekend door de dikte van het isolatiemateriaal (in meter) te delen door de

lambdawaarde. Je wilt bijvoorbeeld een dak isoleren met schapenwol van 10 cm dik, waarvan de lambdawaarde 0,035 W/mK is:

dikte isolatiemateriaal in meter / lambdawaarde isolatiemateriaal = Rd-waarde

0,10 m / 0,035 W/mK = 2,86 m² K/W

De Rd-waarde gebruikt men om uit te rekenen hoe dik je een bepaald isolatiemateriaal moet aanbrengen. Deze waarde is ook belangrijk voor het verkrijgen van premies voor dakisolatie.

De Rc-waarde geeft weer wat de totale isolatiewaarde van een bepaald constructiedeel is (c = constructie). De waarde wordt berekend door de totale warmteweerstand van het isolatiemateriaal op te tellen bij de warmteweerstand van de constructiematerialen, bijvoorbeeld hout, metaal, steen... Een hogere Rc-waarde betekent een betere thermische isolatie. Het berekenen van de Rc-waarde is niet zo simpel, want het gaat wat verder dan het gewoon optellen van de afzonderlijke Rd-waardes. Je moet namelijk rekening houden met het isolatiemateriaal, alle bouwmaterialen, de mogelijke luchtlagen in de constructie en eventuele correctiefactoren voor bevestigingsmaterialen en een koudebrug.

$$R_c = \frac{\sum R_m + R_{si} + R_{se}}{(1 + \alpha)} - R_{si} - R_{se}$$

Toelichting:

R_m = Warmteweerstand van alle verschillende materialen in de constructie

R_{si} = Warmte-overgangsweerstand (binnen, surface interior)

R_{se} = Warmte-overgangsweerstand (buiten, surface exterior)

α = Correctiefactor

Voor de R_{si}, R_{se} en de α kan je de standaardwaarden gebruiken die in het bouwbesluit geformuleerd staan.

Volgens dit bouwbesluit (EPB-eisen) moeten nieuwbouw-constructies aan bepaalde Rc-waarden voldoen.

Gevel: Rc > 4,7 m² K/W

Vloer: Rc > 3,7 m² K/W

Dak: Rc > 6,3 m² K/W

Toepassing op onze constructie

Onze proefopstelling kan natuurlijk nooit voldoen aan deze eisen, want de Rd-waarde voor mdf is veel kleiner dan die voor bijvoorbeeld een gemetselde bakstenen muur. Onze muren in mdf zijn maar 6 mm dik, dus de Rd-waarde kan nooit realistisch zijn.

Rd-waarde muur in mdf: 0,006 m / 0,14 W/mK = 0,043 m²/KW

Rd-waarde isolatie: 0,02 m / 0,033 W/mK = 0,6 m² K/W

9.1.7. XPS-isolatieplaten



XPS staat voor geëxtrudeerd polystyreen. XPS wordt ook wel polystyreen hardschuim genoemd. Het is een kunststof isolatiemateriaal in plaatvorm. Meestal gaat het om XPS-platen met tand- en groefverbinding, wat zorgt voor een goede aansluiting van de isolatie. De gesloten cellenstructuur maakt de platen erg vochtwerend, drukvast en isolerend, waardoor de XPS-isolatieplaten een populair isolatiemateriaal zijn. Ze zijn bruikbaar voor verschillende toepassingen zoals dakisolatie, kelderisolatie, vloerisolatie... Ook voor toepassingen in vochtige omstandigheden zijn XPS platen een echte aanrader.

VOORDELEN XPS-ISOLATIEPLATEN	NADELEN XPS-ISOLATIEPLATEN
Lambda: 0.032 - 0.035 W/mK (sterke isolatiewaarde)	Brandbaar (rook is wel minder schadelijk dan bij PUR)
Goede vochtbestendigheid	Niet goedkoop (duurder dan EPS-platen)
Bestand tegen schimmels en micro-organismen	
Licht van gewicht	
Eenvoudig te snijden/zagen en verwerken zonder huidirritatie	
Erg drukvast	
Hoge diffusieweerstand: 150-300 (dampdoorlatendheid)	
Veelzijdig isolatiemateriaal met verschillende toepassingsmogelijkheden	

Zoals reeds vermeld, gebruiken wij ook XPS-isolatieplaten om alles te isoleren in onze nulwoning. We gebruiken de XPS-platen van 2 cm dikte, van het merk Styrodur. We kochten deze platen in de HUBO.

Productinformatie:

Omschrijving

Styrodur 2800 C Isolatieplaat 125x60x2 cm R0,6



De isolatieplaat Styrodur 2800C werd vervaardigd uit geëxtrudeerd polystyreenschuim en heeft een groene kleur. Deze platen hebben een wafelpatroon en rechte kanten en zijn daardoor geschikt voor toepassingen in verbinding met beton, gips en andere deklagen.

Kenmerken

Fysieke kenmerken

Breedte	60 cm
Lengte	1,25 m
Type isolatie	Thermische isolatie
Vorm artikel	Plaat
Dikte	20 mm

Algemene kenmerken

Merk	Styrodur
------	----------

Technische kenmerken:

Materiaal	XPS-schuim
Isolatiewaarde	Rd-waarde: 0,6 m ² (K/W) Rc-waarde: 1,1 m ² (K/W)
Brandklasse	E-elektrische branden

Verpakking

Breedte verpakking	60 cm
Gewicht verpakking	0,5 kg
Lengte verpakking	125 cm
Hoogte verpakking	2 cm

Referenties en codes

Hubo-referentie	20139
Leverancierscode	40315
EAN- / barcode	5414527403155

9.2. Bouwpakket van ons huis

9.2.1. Omschrijving

Met ons groepje ontwikkelen we een bouwpakket van een energieneutrale woning. Met mdf-platen maken we ons huis op schaal. We gebruiken mdf uit praktische overwegingen. Onze school beschikt namelijk over een lasercutter, die de platen perfect op maat kan maken.



9.2.2. MDF

Mdf staat voor medium density fireboard. Het is een zeer veelzijdig plaatmateriaal met ontelbare toepassingsmogelijkheden. Mdf werd in de jaren 60 in de Verenigde Staten ontwikkeld en in de jaren 70 in Europa geïntroduceerd.

Het wordt gemaakt door houtstof (naaldhout, loofhout en zelfs oud papier) onder hoge druk te persen en te lijmen. De vezels worden met kunstharzen aan elkaar gebonden. Het resultaat is een gladde plaat, die zich laat zagen als hout en goed te verven of te lakken is. De kunstharzlijm is wel milieubelastend, omdat de lijm wordt gemaakt op basis van aardolie.

In het begin werden mdf-platen vooral toegepast in de meubelindustrie als alternatief voor spaanplaten en houten panelen. Al snel volgde de interieurbouw. Nu is het plaatmateriaal ook niet meer weg te denken uit de bouw en de doe-het-zelfbouwmarkt. Naast platen, zijn er onder andere ook mdf-plinten, deuren, deurlijsten en vensterbanken verkrijgbaar.

9.2.3. Soorten MDF

Standaard MDF

Standaard mdf is ruim verkrijgbaar in diverse diktes. Het is geschikt voor allerlei binnentoepassingen. Hierbij kunnen we bijvoorbeeld denken aan meubels, interieurbetimmeringen, plinten en architraven. Voor toepassing onder vochtige omstandigheden en buiten is het niet geschikt. Voor onze energieneutrale woning gebruiken wij ook standaard mdf met als dikte 6 mm.

MDF met een laag formaldehydegehalte

Bij de productie van mdf wordt formaldehydelijm gebruikt. Formaldehyde kan onder bepaalde omstandigheden in beperkte hoeveelheden als gas vrijkomen. Dit gas is schadelijk voor de gezondheid. Normaal mdf voldoet aan de eisen die gesteld worden aan het formaldehydegehalte en kan toegepast worden in ruimtes waar voldoende ventilatie aanwezig is. Voor toepassingen in ruimtes met weinig ventilatie, een hoge luchtvochtigheid en een hoge temperatuur is mdf met een laag formaldehydegehalte ontwikkeld.

Vochtbestendige MDF

Voor toepassing onder vochtige omstandigheden is vochtbestendig mdf ontwikkeld. Het wordt gebruikt voor keukens, badkamermeubels, vloeren, vensterbanken, plinten en architraven. In het rijtje met soorten mdf neemt de mdf voor buitentoepassingen een speciale plaats in. Deze watervaste plaat is relatief nieuw en heeft bij een juiste verwerking een levensduur tot 50 jaar. Hiermee is het net zo duurzaam als teakhout.

Brandvertragende MDF

Brandvertragende mdf is ontwikkeld voor toepassingen waarbij hogere eisen worden gesteld aan de brandveiligheid. Standaard mdf is in die gevallen niet geschikt, want het heeft een lage brandwerendheid. Brandvertragend mdf is op dezelfde manier te bewerken en af te werken als normaal mdf en wordt gebruikt als wand- en plafondbekleding, voor scheidingswanden, deuren, meubilair en interieurinrichtingen.

High density fibreboard (HDF)

High density fibreboard (hdf) heeft hogere mechanische eigenschappen dan normaal mdf. De vezels worden tijdens de productie onder hogere druk samengeperst waardoor hdf een hogere dichtheid heeft dan standaard mdf. Het is geschikt voor binnentoepassingen onder droge omstandigheden.

9.2.4. Werken met MDF

Niet onbelangrijk bij het werken met mdf is de opslag ervan. Mdf-platen kunnen het best horizontaal worden opgeslagen onder droge omstandigheden. Zorg dat ze volledig vlak liggen en vrij zijn van een eventuele vochtige ondergrond. Leg bijvoorbeeld

houten balkjes op een onderlinge afstand van zo'n 60 cm onder de mdf-platen. Zorg ervoor dat de platen niet doorbuigen. Een eventuele doorbuiging is namelijk blijvend.



Mdf-platen zijn weliswaar minder gevoelig voor vocht en temperatuurschommelingen dan massief hout, toch moet rekening worden gehouden met de maatvastheid van mdf. Verwerk de mdf bij voorkeur onder omstandigheden zo dicht mogelijk bij de uiteindelijke gebruikstoestand om maatafwijkingen te voorkomen. Laat de platen bijvoorbeeld enige dagen acclimatiseren voor er mee aan de slag te gaan.

Werken met mdf is niet moeilijk. Mdf laat zich met het juiste gereedschap gemakkelijk bewerken, ook door de doe-het-zelver. Door de dichte en gelijkmatige vezelstructuur splintert het niet bij zagen en frezen, maar je frezen zullen wel sneller verslijten, omdat mdf voor een groot gedeelte uit lijm bestaat. Als je mdf gaat schroeven, is het verstandig om de gaten voor te boren om splijten te voorkomen.

Bescherm jezelf tegen houtstof dat vrijkomt bij werken met mdf. Houtstof is schadelijk voor de gezondheid. Draag daarom bijvoorbeeld een mondkapje en een stofbril. Gebruik zaag- en schuurmachines met stofafzuiging.

Gangbare houtlijmen zijn geschikt voor het verlijmen van mdf. Normale spaanplaatschroeven zijn ook prima bruikbaar voor het maken van verbindingen, maar er zijn ook speciale mdf-schroeven verkrijgbaar.

9.2.5. Schilderen van MDF

Een mooi eindresultaat bij het lakken of schilderen van mdf valt of staat met een goede voorbereiding. De eerste stap in de voorbereiding wordt vaak vergeten, maar is misschien wel de belangrijkste bij het schilderen van mdf: het ontvetten van de te schilderen oppervlaktes. Bij de productie van mdf wordt vaak een kleine hoeveelheid paraffine toegevoegd en dat is een vettige substantie (kaarsvet). Vet en verf gaan niet goed samen, waardoor de verf bijvoorbeeld niet goed hecht of droogt en er rare vlekken in het geschilderde oppervlak ontstaan. Voor het ontvetten van mdf kun je thinner, speciale mdf-doekjes en mdf-reiniger gebruiken. Dit is allemaal verkrijgbaar bij de bouwmarkt.

Na het ontvetten volgt het schuren. Mdf is van zichzelf al vrij glad, maar het is toch aan te raden de oppervlaktes met een heel fijn schuurpapier (korrel 160 of kleiner) te schuren. Zeker wanneer het de bedoeling is om de mdf met hoogglansverf af te lakken. De kapse kanten of andere bewerkte stukken van mdf moeten sowieso goed geschuurd worden.

Na nog een keer ontvetten en stofvrij maken kan dan de eerste laag grondverf aangebracht worden. Grondverf is belangrijk, want het vermindert de zuiging van de mdf. Je voorkomt zo dat de verf snel in de mdf trekt. Normale grondverf volstaat, maar voor het schilderen van de kapse kanten van de mdf kan bij de eerste laag beter verdunde grondverf gebruikt worden. Dit dringt dieper in de plaat door en vermindert daardoor nog beter de zuiging. Er bestaat ook speciale mdf-grondverf of mdf-sealer voor de randen, maar een paar lagen al dan niet verdunde grondverf op de kapse kanten geven hetzelfde resultaat. Bij grote platen mdf is het belangrijk om op de achterkant ook grondverf aan te brengen. Zo voorkom je namelijk dat de plaat krom trekt. Breng de verf gelijkmatig aan met een verfroller. Na het drogen van de grondverf wordt er licht geschuurd met een fijn schuurpapier en stofvrij gemaakt.

De tweede laag grondverf kan dan opgebracht worden. Voor de kapse kanten is het misschien wel nodig om nog een derde keer grondverf aan te brengen. Voor een strak resultaat worden de kapse kanten ook wel geplamuurd. Na nogmaals licht schuren met fijn schuurpapier (korrel 240) en stofvrij maken is de mdf klaar om af te schilderen.

Om het jezelf wat gemakkelijker te maken kan je ook reeds 'geprimerde' mdf-platen kopen en kan je voorafgaande stappen overslaan.

Schilderen van mdf kan met verf op terpentinebasis (alkyd) en met verf op waterbasis (acrylaat). Deze verven zijn te koop bij bouwmarkt en verfwinkel. Andere verven zoals tweecomponenten

polyurethaanlak zijn ook geschikt, maar duurder en minder goed verkrijgbaar. Pas je grondverf wel aan aan het soort aflat dat je koopt. Er zijn ook universele grondverven die als basis kunnen dienen voor zowel acrylaat- als alkydverf. Het beste resultaat krijg je met een vachtroller. Schuimrollers geven vaak een sinaasappelhuidje als resultaat. Om te voorkomen dat de vachtroller pluïsjes afgeeft, kun je deze eerst beplakken met schilderstape. Bij het verwijderen hiervan blijven de losse pluïsjes op de tape achter.

Breng de verf gelijkmatig aan in banen met de roller. Rol de verf goed uit en probeer aanzetten te vermijden. Oefening baart kunst, ook hier. Verf op waterbasis droogt snel en laat daarom ook snel strepen achter. Bij alkydverf is de droogtijd langer waardoor de verf ook beter vloeit. De kans op strepen is daardoor een stuk kleiner. Zet grote stukken MDF recht op bij het afschilderen en drogen. Zo komt er minder stof op.

Meestal dekt de eerste laag niet voldoende. Schuur na het drogen licht met fijn schuurpapier (korrel 240 of fijner) en maak goed stofvrij. Lak nogmaals af. Voor een nog mooier resultaat met diepere kleuren wordt soms een derde laag aangebracht.

9.3. Spoelen

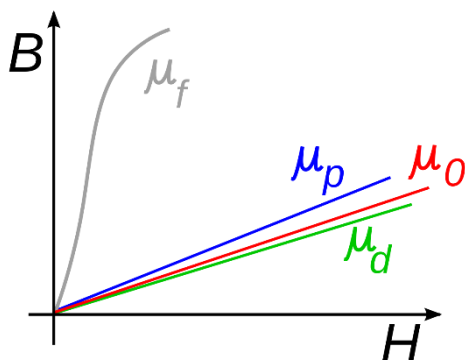
9.3.1. Werking

Een spoel is een aantal windingen draad, deze kan een kern hebben of geen kern hebben. Een spoel heeft twee basisfuncties. Wanneer er stroom door de spoel loopt, genereert deze een magnetisch veld; wanneer de spoel in een bewegend magnetisch veld terecht komt, genereert deze spanning. In het geval van de windmolen willen we dus spanning opwekken.

Omdat het in de praktijk moeilijk haalbaar is om een magneet door een spoel te laten gaan, geven we de spoel een kern met een goede magnetische permeabiliteit, in ons geval dus ijzer.

9.3.2. Magnetische permeabiliteit

Magnetische permeabiliteit is de mate waarin een medium het magnetisch veld geleidt. Het geeft aan in welke mate een materiaal magnetisch polariseert, dus zich richt naar het magneetveld en het zo versterkt. Meer bepaald is het de verhouding tussen de magnetische fluxdichtheid B en het magnetisch veld H :



$$\mu = \frac{B}{H}$$

9.3.3. Enkele termen

- Magnetische flux ϕ is het aantal veldlijnen die door een oppervlakte gaan. Dit wordt uitgedrukt in Weber
- Magnetische fluxdichtheid ofwel magnetische inductie is de oppervlaktedichtheid van de magnetische flux, dit is dus het verband tussen magnetische flux en oppervlakte

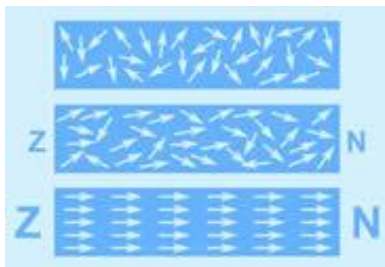
9.3.4. Magneculen

De chemie leert ons dat een atoom is samengesteld uit een kern met draaiende elektronen eromheen. Die elektronen wentelen op hun beurt om hun eigen as. De wetenschap heeft aangetoond dat het magnetisme wordt opgewekt door die bewegende elektrische ladingen. In een atoom zijn er meerdere elektronen aanwezig, die dus elk een klein deel magnetisme opwekken, met elk hun eigen richting. Deze kleine hoeveelheden magnetisme worden magneculen genoemd.

9.3.5. Ferromagnetische kern

Zoals al eerder gezegd, is versterkt ijzer dus een magnetisch veld omdat de magnetische permeabiliteit van ijzer hoger is dan die van lucht. Het geleidt beter de magnetische veldlijnen. De magnetische permeabiliteit van ferromagnetische stoffen is in het algemeen hoger. Er is een verschil tussen magnetisch en ferromagnetisch: een stof met de eigenschap 'magnetisch' gedraagt zich als een magneet, een stof wordt als ferromagnetisch betiteld als een magneet er blijft aanplakken. De meest gekende ferromagnetische stoffen zijn ijzer, kobalt en nikkel.

Ferromagnetisme treedt op in materialen die ongepaarde magneculen bevatten waartussen een wisselwerking bestaat die ertoe leidt dat de atomaire magnetische momenten zich evenwijdig aan elkaar richten. Dit leidt tot spontane en permanente magnetische velden rond een voorwerp dat uit een ferromagnetisch materiaal vervaardigd is.



Magneculen kun je richten door het ferromagnetisch materiaal in een magnetisch veld te brengen. In dat geval magnetiseer je ferromagnetisch materiaal. Het ferromagnetisch stuk moet in dit geval met dezelfde zin in het magnetisch veld blijven om te kunnen magnetiseren.

9.3.6. Remanente inductie

Als je een ferromagnetisch materiaal in een magnetisch veld brengt, wordt het magnetisch. Na verwijdering uit het veld blijft het materiaal deels magnetisme behouden. Dit overblijvende magnetische noemt men remanente inductie. Remanent magnetische verdwijnt na een tijdje opnieuw.

De remanente inductie neemt toe met de magnetische hardheid van het materiaal: hoe harder het staal, hoe hoger de remanente inductie na magnetiseren. De remanente inductie kun je verwijderen op drie manieren: het materiaal boven een bepaalde temperatuur verwarmen, het materiaal laten trillen of in een tegengesteld gericht veld brengen.

9.3.7. Magnetische weerstand

Elk materiaal heeft een magnetische weerstand. Dit zorgt er voor dat de ferromagnetische kern op warmt bij het constant veranderen van magnetisch veld. Doordat de kern zich in een bewegend magnetisch veld bevindt zal deze ook spanning opwekken, deze spanning wordt automatisch kortgesloten. Met als gevolg dat de stroom oneindig stijgt, met op zijn beurt gevolg warmte. In industriële toepassingen wordt dit verholpen door de kern te verdelen in verschillende lagen en elke laag te isoleren. Bij de windmolen zal dit niet nodig zijn omdat de spanning niet hoog genoeg zal zijn. De warmte die wordt aangemaakt zal, dus niet op te merken zijn.