

Slimme netten

Xander Vandooren

January 8, 2025

Contents

1	Week 1:	1
1.1	Inleiding:	1
1.1.1	is 100% hernieuwbare energie mogelijk?:	1
1.1.1.1	Dunkelflaute	1
1.1.1.2	net load	1
1.1.2	Is energieopslag de ultieme oplossing:	1
1.1.3	Klimaatopwarming of afkoeling?	1
2	Week 2:	2
2.1	Tariefstructuren:	2
2.1.1	Flexpiramide:	2
2.1.2	Dynamisch contract:	2
2.1.2.1	Kleine onderneming:	2
2.1.3	Digitale meter:	3
2.1.4	Tariefstructuur vanaf 2021:	4
2.1.4.1	Tot 2020:	4
2.1.4.2	Vanaf 2021:	5
2.1.5	Nieuwe tariefstructuur 2022-2024-KVM/GVM	5
2.1.6	Nieuwe tariefstructuur 2023-2024 KVM	6
2.1.7	Capaciteitstarief:	6
2.1.7.1	Residentieel Capaciteitstarief	6
2.1.8	Energiemarkten:	7
2.1.8.1	Soorten energiemarkten:	8
2.1.8.2	Day ahead markt versus onbalansmarkt:	9
2.1.8.3	Inspelen op de energiemarkten:	9
2.1.9	Capaciteitsdiensten:	10
3	Week 3:	11
3.1	Hernieuwbare energiebronnen:	11
3.1.1	Begrippen & definities:	12
3.1.1.1	kW versus kWh	12
3.1.1.2	Capaciteitsfactor/utiliteitsfactor	12
3.1.1.2.1	oefening	13
3.1.2	Zonne-energie:	13
3.1.2.1	Overzicht PV installatie:	13
3.1.2.1.1	PN-Junctie:	14

3.1.2.1.2	Golflengte Licht-Spectrum:	15
3.1.2.1.3	IV & PV-curve:	15
3.1.2.1.4	Toekomst:	19
3.1.2.1.5	PV-invertor:	20
3.1.2.1.6	AC-vorming:	20
3.1.2.1.7	Maximum power point tracking (MPP):	21
3.1.2.1.8	Rendement:	21
3.1.2.1.9	Opbrengstbepaling van een PV-installatie:	22
3.1.2.1.10	invloed van oriëntatie	22
3.1.2.1.11	Analyse jaarprofiel:	23
3.1.2.1.12	Werkelijke profielen:	23
3.1.3	Wind energie:	23
3.1.3.1	Oefening vermogen van wind:	25
3.1.3.2	Vermogen van wind kan niet volledig worden benut:	25
3.1.3.3	Types turbines:	26
3.1.3.3.1	Horizontale as windturbine (= HAT):	26
3.1.3.3.2	Verticale as windturbine (VAT): . .	27
3.1.3.4	Type generatoren/ MPP regeling:	28
3.1.3.5	Windprofiel:	28
3.1.3.6	Windroos:	30
3.1.3.7	Analyse jaarprofiel:	31
3.1.4	Evaluatie van profielen:	31
3.1.4.1	Nieuwe dimensionering:	32
3.1.4.1.1	Dimensioneringen:	33
3.1.5	Vergelijking zon/wind:	33
3.1.6	Technologische optimalisatie:	33
3.1.6.1	Dimensionering:	34
4	week 5:	34
4.1	Hernieuwbare elektriciteit: wetgevend kader	34
5	week 6:	38
5.1	Energieopslag:	38
5.1.1	Begrippen:	40
5.1.2	Overzicht technologieën:	43
5.1.2.1	Pumped hydro (PHS)	43
5.1.2.2	Batterijen:	44

5.1.2.2.1	Recycling van batterijen:	47
5.1.2.2.2	Second life batterijen:	48
5.1.2.2.3	batterijen EV's:	49
5.1.2.2.4	Dimensionering:	49
5.1.2.2.5	Individueel versus groep:	50
5.2	Energieopslag (hoofdstuk 5)	50
5.2.1	Waterstof:	50
5.2.2	Optimaal gebruik van RES & opslag:	51
5.2.2.1	Profiel analyse:	51
5.2.2.2	Analyse Zc, Zv ifv hernieuwbare en opslag	52
5.2.2.2.1	Residentieel:	52
5.2.2.2.2	Industrieel:	53

1 Week 1:

1.1 Inleiding:

Wat is het net van de toekomst?

- Centraal
- Decentraal

Wind en zonne-energie veel sneller dan andere systemen aan 1000+ TWh. Een nadeel hiervan is dat we op een gegeven moment zoveel energie opwekken dat we teveel energie hebben die we niet weg krijgen.

1.1.1 is 100% hernieuwbare energie mogelijk?:

1.1.1.1 Dunkelflaute Moment waar er geen zon en wind was voor langere periodes en dat er ook niet genoeg alternatieven waren.

1.1.1.2 net load Met zonne energie kunnen we over de middag alles van ons net doen met zonneproductie. Het probleem is dat we kort na de middag rond 15:00 we dan een veel te hoge prijs hebben en dat de centrales meer werk moeten leveren.

1.1.2 Is energieopslag de ultieme oplossing:

We hebben ze voor nu nodig omdat we nu met overproductie zitten. Dat wil niet zeggen dat dit de ultieme oplossing is maar het is wel essentieel voor de dag van vandaag.

1.1.3 Klimaatopwarming of afkoeling?

Als we nu nog ons best doen kunnen we het nog "omdraaien". Hoe pakken we het best aan?

2 Week 2:

2.1 Tariefstructuren:

2.1.1 Flexpiramide:

Flexibel energiesysteem wordt heel belangrijk...

- Om bevoorradingszekerheden het netevenwicht op elk moment te garanderen, is hogere flexibiliteit nodig.
- Zowel voor korte periodes (uren, dagen) als lange periodes (weken, maanden).
- Flexpiramide vat de belangrijkste vormen van flexibiliteit samen.

De piramide van beneden naar boven gezien:

1. Infrastructuur: Dynamisch beheer van netten
2. Tarieven: Impliciete flexibiliteit
3. Commerciele flexibiliteit: Expliciete flexibiliteit, ingekocht op markt
 - Balancing, veroorradingszekerheid, lokaal congestiebeheer,...
4. Technische flexibiliteit: Expliciete flexibiliteit, opgelegd door netbeheerder
 - Louter lokaal congestiebeheer

2.1.2 Dynamisch contract:

Een contract die dynamische prijzen heeft bvb. rond middag heel lage prijzen en rond 17:00 tot 20:00 hogere prijzen. Is wel complexer kwa aanrekening wordt nog niet vaak gebruikt in residentiële wereld.

2.1.2.1 Kleine onderneming: Prijs voor kleine onderneming (50MWh) met dag/nacht regime en injectie 50.000 kWh (29.000 dag/21.000 nacht). Dynamische contracten zijn wel al veel gebruikt in deze omgevingen wordt de spot markt genoemd (day ahead markt)

2.1.3 Digitale meter:

Digitale meter kan injectie en afname tarief perfect apart berekenen ivgm met terugdraaiende teller waar uw injectie in uw afname tarief zat. Daarom zijn veel mensen nog tegen digitale meter. (gemiddeld 3.5kWh verbruik per dag 1900 dag/1600 nacht) Digitale meter doet aan real time sampling (elke seconde nieuwe data). injectieprijs = €0.04 kWh en afname prijs is €0.3 kWh We hadden vroeger voor lange tijd een plateau van +- €0.24 afname prijs maar sinds de energiecrisis (periode corona, start oorlog Ukraine) prijs veel gestegen en nu terug wat gestagneerd rond de €0.34 maar we zijn niet zeker of dit voor 5 jaar het plateau zal blijven. Injectieprijs is zelfde als voor energiecrisis maar afnameprijs is gestegen met voor energie crisis.

- Waarom:
 - Technologische evolutie
 - Ondersteunen van de energietransitie
 - * Digitale meter fungeert als 'enabler'
 - Verfijning van het dienstaanbod ondersteunen
 - * Invoering nieuwe Tariefstructuren
- Wat:
 - Digitale meter != slimme meter
 - 4 uitleesbare meterstanden
 - * Vanaf januari 2020: 1 waarde per dag
 - * Vanaf kwartaal 3 2020: kwartierdata
 - 2 gebruikerspoorten met specifiek doel:
 - * P1 poort: Gebruikerspoort voor verbruiksgegevens
 - * S1 poort: Gebruikerspoort voor geavanceerde detectie- en regelingen:
 - Toestelherkenning mogelijk
 - Poorten zijn standaard gedeactiveerd
- Wanneer:
 - Plaatsing sinds juli 2019:

- * Gezinnen die voor 1 juli 2019 al zonnepanelen hadden (eind 2022)
- * Gezinnen die voor 1 juli 2019 een budgetmeter toegewezen had (eind 2021)
- * Elk vlaams gezin zal tegen eind 2034 beschikken over digitale meter
- * Wil je digitale meter sneller?:
 - koste vroeger 88 euro om te plaatsen maar is nu gratis.

Inzicht in eigen data:

- Verbruikshistoriek opvragen:
 - Dag/week/maand & jaardata:
 - * Realtime data uitleesbaar (& aanstuurbaar)

2.1.4 Tariefstructuur vanaf 2021:

Verschil tariefstructuur tot eind 2020 versus start 2021:

- cfr. Uitspraak hof van beroep- 15 jaar principe terugdraaiende teller

2.1.4.1 Tot 2020:

- Klassieke teller:
 - Prosumententarief (sinds 2015) als vaste kost per kVa PV-omvormervermogen:
 - * Hoe hoog zelfconsumptie/zelfvoorziening is, geen enkel prijsvoordeel voor de installatie
- Digitale meter:
 - Keuze tussen prosumententarief of verrekening tussen werkelijk verbruik & injectie.

2.1.4.2 Vanaf 2021:

- Klassieke teller:
 - Prosumententarief blijft bestaan
- Digitale meter:
 - ToU term mogelijk voor energieprijzen (cfr. YUSO, Engie)
 - Afrekening volgens werkelijke afname en injectie
 - * Men wordt beloond als men meer eigen opgewekte energie direct kan verbruiken in eigen installatie.
 - * Prijs afname +- 25 eurocent
 - * Prijs injectie

economische haalbaarheid

- Situatie: jaarlijks verbruik = jaarlijkse opbrengst.

Als je geen digitale meter hebt is batterij niet interessant want bij terugdraaiende teller kan je niet weten hoeveel je hebt bespaard/verdient met uw batterij.

2.1.5 Nieuwe tariefstructuur 2022-2024-KVM/GVM

KVM versus GVM:

- KVM: kleinverbruiksmeterinrichting- Aansluitcapaciteit < 56 kVA of PV installatie met PV omvormervermogen <= 10 kVa.
- GVM: Grootverbruiksmeterinrichting- Andere dan de bovenstaande

Enkel distributie wordt hier in getoond, worden afgestraft voor piek verbruik. gemakkelijker te berekenen met digitale meter dan met aftrekkende teller. Aftrekkende teller heeft meestal een grote vaste kost dan digitale meter omdat we niet echt kunnen weten wat het piek verbruik is. (Dit is bij Gezinnen en KMO's)

2.1.6 Nieuwe tariefstructuur 2023-2024 KVM

Enkel van toepassing op nettarieven. Je betaalt voor klassieke meter meer dan digitale meter Capaciteitstarief (gemiddelde maandpiek). uw normaal tarief is ook wat lager bij digitale meter dan bij klassieke meter. Kwh wordt real time berekend maar piek wordt per kwartier berekend (Fluvius kan dit niet real time berekenen) dus Capaciteitstarief wordt per kwartier berekend. Je wordt op het rollend maandgemiddelde van de afgelopen 12 maanden geplaatst. bvb als in september uw piek 6kW was maar het gemiddelde van de 12 is lager kan het zijn dat je zal betalen voor 5kW piek.

2.1.7 Capaciteitstarief:

Vroeger betaalden we in € per kWh maar met capaciteitstarief betaalt je dan ook voor piekvermogen. bvb als je op het eind van het jaar een feestje geeft zal je een piek hebben die je het rest van het jaar niet hebt en met capaciteitstarief moet je daar op betalen (hoe hoger de piek hoe meer je betaald in distributiekosten). Distributie is in € per Kw

2.1.7.1 Residentieel Capaciteitstarief

- Netkosten moeten betaalbaar blijven
- Net efficiëntie moet stijgen omwille van stijgende elektrificatie:
 - WP & EV worden aanzien als grootste uitdaging binnen elektrificatie van netwerk
 - * Zonder optimalisatie netkosten worden tussen 2020 en 2023 extra investeringen net ingeschat op 88-1.150 miljoen € → stijgende elektriciteitsfactuur voor iedereen
 - * Echter zijn beide perfect in staat om in een minimale netimpact te realiseren door het slim beheren!
 - Gelijklopende trend in buurlanden

Fluvius blijft investeren:

- Capaciteitstarief heeft niet tot doel om daardoor netinvesteringen uit te laten:

- Fluvius zal in periode 2023-2024 → 4 miljard investeren voor het versterken van de netinfrastructuur
- Capaciteitstarief heeft niet tot doel om daardoor netinvesteringen uit te laten:
 - 4 miljard extra, naast de reeds geplande 7 miljard euro voor de energietransitie mogelijk te maken.

2.1.8 Energiemarkten:

Laatste jaren is marktstructuur sterk gewijzigd:

- Blauwe lijnen= fysieke stroom naar eindgebruikers
- Nieuwe marktspelers:
 - ESCO
 - Aggregator:
 - * Sluiten contracten af met evenwichtsverantwoordelijken (BRP's), de distributienetbeheerders en de prosumenten (producent+consument is vaak wij)
- Doelstellinge marktspelers- evenwicht in vraag en aanbod
- Zowel energie- als capaciteitsdiensten om vraag en aanbod af te stemmen:
 - Energiedienst: flexibel aanwenden van productie-eenheden, opslagsystemen of grote verbruikers (Dit wordt meest gebruikt):
 - * Forward, DA (Day ahead markt), ID, onbalansmarkt
 - Capaciteitsdienst: Reserveren van bepaalde capaciteit op voorhand:
 - * FCR, Afr, mFRR

2.1.8.1 Soorten energiemarkten: Forward markt:

- Traden weken/maanden-/jaren op voorhand
- Verhandeling basislast via ICE (International exchange) & (European energy exchange)

Day-Ahead (DA):

- Trading gebeurt D-1 vooruit (24h/365d) op uurlijke resolutie voor België
- Verkoper kwantificeert zijn benodigd portfolio en wat hij nog moet extra aankopen of verkopen.
- Op einde van de day-ahead markt moet de markt in evenwicht zijn
- Deelnemers kunnen tot 12 uur s'middags hun orders indienen
- Eerste negatieve prijs ontstaan in 2008 Duitsland door hernieuwbare productie

Intra-day market (ID):

- Er kunnen grote verschillen op day ahead niveau en realiteit (verkeerde zonne- of windvoorspelling).
- Intraday verhandelt elektriciteit op de leveringsdag tot 1 uur voor het leveren.
- Trading gebeurt continue op uurlijkse & 15-minuten resolutie.

Onbalans markt:

- Behandelt onevenwichten in de portefeuille van de intraday markt:
 - Deelname mogelijk als netgebruiker meer dan 1MW flexibel vermogen heeft, rechtstreeks via ELIA.
 - Indien netgebruiker minder dan 1MW flexibel vermogen heeft, kan men enkel deelnemen via BSP (= balance service provider).

Bij Forward markt zal je nooit negatieve prijzen hebben maar bij Day-Ahead markt kan je wel met negatieve prijzen zitten. Maar zelf op de day-ahead markt zullen de prijzen meestal niet negatief zijn.

2.1.8.2 Day ahead markt versus onbalansmarkt:

- Is day ahead de verdienmarkt of is er nog meer?
 - 2008 was economische crisis
 - Meer variaties, maar gemiddelde prijzen blijven gelijklopend
 - Steeds meer negatieve prijzen door hernieuwbare
 - Positieve uitschieters waren vroeger ook al aanwezig

Slim inspelen op energieprijzen kan leiden tot mooie winsten.

2.1.8.3 Inspelen op de energiemarkten: BRP versus BSP:

- Beide termen hebben betrekking tot de rol die een organisatie heeft in de energiemarkt
- BRP(=Balance responsible party) is verantwoordelijk voor het in evenwicht houden van zijn eigen verbruik/productie en handel in elektriciteit.
 - BRP moet informeren over de verwachte productie, verbruik en de handel in elektriciteit om de balans in het netwerk te kunnen realiseren.
- BSP (= Balance Service Provider) biedt balanceringsdiensten aan.
 - Leveren van reservevermogen (capaciteitsdiensten) of afnemen onbalansvermogen van BRP's.
 - Ze kunnen ook elektriciteit verhandelen, maar zijn niet verantwoordelijk voor de balanceringsdienst van het net.

BRP:

- YUSO
- Smart@energy (spin off Elindus)
- Scholt energy control NV
- Luminus

BSP:

- YUSO
- Centrica
- Luminus
- Next Kraftwerke

2.1.9 Capaciteitsdiensten:

FCR (Frequency containment restoration:)

- Primaire reserve of R1
- Balans tussen vraag & aanbod in een intergeconnecteerde zone te bewaren
- Wekelijkse veilingen, op termijn mogelijke evolutie naar dagelijkse veilingen
- Minimumvermogen minstens 1MW, Geleverd binnen de 30 sec (aggregatie is toegelaten)

FCR's zijn volgeladen systemen die real time kunnen geactiveerd worden als er problemen zijn op ons net.

aFRR (Automatic frequency restoration Reserve):

- Secundaire reserve of R2
- R2 zal de taken van R1 trachten over te nemen zodanig R1 terug vrijkomt voor 'nieuwe' frequentie afwijkingen
- Brengt frequentie terug naar 50Hz
- Moet aangeleverd worden binnen de 7.5 min en dit zolang als nodig aanbieden
- Minimumvermogen minstens 1MW (vroeger geen aggregatie mogelijk).

mFRR (Manual Frequency Restoration Reserve)

- Tertiare reserve of R3
- idem als aFRR, met name ontlasten van 'R2'
- Manueel inschakelen
- Vlakke hellingsgraad & langere activatieperiode

3 Week 3:

3.1 Hernieuwbare energiebronnen:

EU targets 2030:

- CO₂ reductie van 40-55% (tov 1990)
- Energie efficiëntie:
 - ↪ België heeft dit vertaald in het Nationaal Energy & Klimaat Plan (NEKP). Verwachtingen dat de doelstelling 2020 voor hernieuwbare energie in België pas bereikt zal worden in 2025.
 - ten minste 11.7%
- Hernieuwbare energie:
 - ten minste 23%

EU target 2050 → Klimaatneutraal.

Geïnstalleerd vermogen != werkelijk vermogen. In België is water, zon en wind energie meer dan 50% van ons geïnstalleerd vermogen maar in de praktijk zijn de niet hernieuwbare bronnen nog altijd de meerderheid van ons werkelijk vermogen. **Oefening:** Hoeveel keer kan de wereldwijde zonneproductie in het verbruik van België: $Zon = 1.418.97 \text{ GW}_{\text{piek}}$ en we gaan er van uit dat in België $1 \text{ kW}_{\text{piek}} = 1 \text{ MWh}$. dus we kunnen er van uit gaan dat de zon = 1418 TWh. In België hebben we een jaarlijks verbruik van 75 TWh. $1418/75 = 18.91$. Dus met de opgewekte zonnenergie van de hele wereld kunnen we 18.91 keer het Belgisch net onderhouden.

- Zon en windenergie zijn wereldwijd erkend als competitieve en betrouwbare bronnen van energie.

- Op vandaag is de kost van elektriciteit afkomstig uit hernieuwbare goedkoper of binnen dezelfde range als deze van fossiele brandstoffen.

3.1.1 Begrippen & definities:

Capaciteitsfactor/utiliteitsfactor:

- Verhouding effectief geproduceerde elektriciteit en de maximaal mogelijke opbrengst in dezelfde periode indien de productie-eenheid op haar nominale capaciteit zou werken.
- Hernieuwbare energie heeft een lage capaciteitsfactor. er moet voor zelfde opbrengst als kerncentrales te hebben 8x meer geïnstalleerd vermogen voor zonneproductie zijn.

In de lente en de zomer kan je rond de 20kWh opbrengst verwachten terwijl verbruik gemiddeld rond de 10kWh is. In de winter zal uw opbrengst natuurlijk veel lager zijn van zonnenergie.

3.1.1.1 kW versus kWh

- De gebruiker kan gedurende langere tijd een constant vermogen verbruiken:
 - vb. 1kW voor 1u=1kWh
- de gebruiker kan gedurende korte periode pieken onttrekken:
 - vb 20kW voor 3 minuten=1Kwh

3.1.1.2 Capaciteitsfactor/utiliteitsfactor Verhouding effectief geproduceerde elektriciteit en de maximaal mogelijke opbrengst in dezelfde periode indien de productie-eenheid op haar nominale capaciteit zou werken.

- Hernieuwbare energie wordt gekenmerkt door een lage capaciteitsfactor:

3.1.1.2.1 oefening laten we zeggen we hebben een verbruik van 3.5 MWh en we hebben zonnepanelen die 500W vermogen hebben. hoeveel zonnepanelen moeten we hebben om ongeveer zelfde verbruik als opbrengst te hebben. we weten dat $1\text{kWp}=1\text{MWh}$. $500\text{W}_{\text{piek}}=500\text{kWh}=0.5\text{MWh}$.
 $\rightarrow \frac{3.5\text{MWh}}{0.5\text{MWh}}=7$ dus we moeten ongeveer 7 panelen hebben.

3.1.2 Zonne-energie:

Fotovoltaïsch is afgeleid van het Griekse woord 'Phos' (= licht) en het woord 'volt' dewelke een internationale eenheid is van elektrische spanning.

- Het verkrijgen van elektrische spanning door zonlicht (= Foto elektrische effect)
- Eerste zonnecellen geïntroduceerd in 19de eeuw (efficiëntie <1%)
- Typische PV-panelen ('single junction') hebben max. theoretische efficiëntie van 33,16% (Schokley-Queisser limit)
- Verhoging van rendement door 'multi layer' PV-panelen (Labocontities al >45% rendement)

Hedendaagse zonnecellen bereiken een rendement van 20%. In praktijk worden multi layer zonnepanelen nog niet gebruikt zit nog vooral in de onderzoeksfase.

3.1.2.1 Overzicht PV installatie: De jaaropbrengst van een PV-installatie wordt bepaald door een complex geheel van factoren zoals:

- Eigenschappen van de PV-cellen/modules
- inverter
- bekabeling
- zonne-instraling
- temperatuur van de modules
- hellingsgraad

- orientatie
- ...

Zonnepanelen wekken DC spanning op dus moeten omgevormd worden om thuis te gebruiken. hiervoor gebruiken we een omvormer (PV-invertor). Zonnepanelen sluiten we in DC met elkaar aan want een zonnepaneel trekt niet 230V in (oude paneel die in labo staat was 30V DC) dus gemakkelijker voor meerdere aan elkaar te verbinden zodat we rondt de 230V zitten.

- Silicium is een veelgebruikt halfgeleidermateriaal voor PV-installaties:
 - Silicium heeft 4 elektronen in de buitenste schil:
 - * Deze vormen een perfecte covalente verbinding met de omliggende siliciumatomen:
 - Geen vrije elektronen in het kristal, dus silicium geleidt niet
 - Kristal moet gedopeerd worden om te geleiden: 2 types onzuiverheden kunnen toegevoegd worden, P- & N-type onzuiverheden

3.1.2.1.1 PN-Junctie:

- P- en N-junctie zijn individueel niet speciaal, het zijn slechts matige geleiders
- Fotonen worden geabsorbeerd bij lichtinval op de junctie
- Er wordt een elektron-gat paar gegeneerd:
 - Dicht bij de P-N overgang?
 - Elektron zal naar de N-laag verplaatsen en gaten naar de P-laag
 - Hierdoor ontstaan nieuwe gaten en kunnen elektronen zich verplaatsen en kan een elektrische stroom vloeien.
 - Bij voldoende lichtinval wordt een spanning opgewekt van 0,4 à 0,5V -> door het in serie plaatsen kunnen hogere spanning verkregen worden

3.1.2.1.2 Golflengte Licht-Spectrum: Hoe korter de golflengte, hoe meer energie-inhoud:

Golflengte van het licht die een standard silicium paneel kan bemutten is eerder beperkt...

- Het grootste deel van het infraroodlicht kan geen elektriciteit opwekken in de zonnecel bij silicium panelen mits deze niet gevoelig zijn voor deze golflengte (golflengte gaat dwars door paneel en zal dus zorgen voor warmte-ontwikkeling).
- Blauw & groen maken meer lading vrij dan geel en rood:
 - Vandaar ook het verschil in dikte tussen de P- en N-laag.
 - Blauw licht moet zo dicht mogelijk bij de PN-overgang

Voor berekening rond PV-installaties wordt het AM 1.5 spectrum gebruikt.

- Het geïnstalleerd vermogen (kWp) van een zonnepaneel onder standaard condities.
 - Voor West-Europa is het invallend spectrum AM 1.5 genormeerd op 1000W/m^2 met een celtemperatuur van 25°C
 - In gebieden rond evenaar zal dit hoger zijn.

Slechts deel van het spectrum bruikbaar voor de veelgebruikte silicium panelen.

3.1.2.1.3 IV & PV-curve:

- Grafische weergave die aantonen hoe een elektrische apparaat functioneert.
- Belangrijkste eigenschappen kunnen afgeleid worden
- IEC 60891 geeft correcte bepaling IV-curve weer

De vorm van de IV-curve vertelt meer over de kwaliteit/performance van de PV-panelen.

- ISC:

- Max stroom (kortsluitstroom)
- Impedantie=0, geen spanning
- Uoc:
 - Max. spanning (open circuit spanning)
 - impedantie= ∞ , geen stroom
- Maximum power point (MPP):
 - Optimaal werkingpunt
 - maximum vermogensopwekking
- Vulfactor:
 - Ratio van actueel maximaal verkrijgbaar vermogen
 - Maat voor de efficiëntie van een PV module

Instraling:

- Max. stroom/vermogen stijgt met stijgende instraling
- Max spanning wijzigt amper met stijgende instraling
- Panelen met glaslaag ondervinden degradatie van 0.5% na een half-jaar en na 1.5 jaar is max. degradatie van 1,5% bereikt.

Temperatuur:

- geleidbaarheid van halfgeleiders stijgt bij stijgende temperatuur
- Elektrische balans verbetert en opbrengst daalt (elektronen vullen gaten gemakkelijker in en het elektrische veld aan grenslaag valt weg wat resulteert in lager spanning tussen de 2 lagen).
- Hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de stroom en hoe lager de spanning.
- → Vermogensval door temperatuurstijging.
- Dus koude lenterdag is vaak beter dan warme zomerdag. zomer heeft wel meer zonneuren. Maar als lente even veel zonneuren zou hebben zou lente sws interessanter zijn.

Schaduw of vervuiling:

- Zonnecellen worden in serie geschakeld, als 1 cel niet belicht wordt, opbrengstverlies doordat opbrengst bepaald wordt door zwakste schakel (opl = bypass diodes,...)
- De spanning zal slechts weinig dalen terwijl de stroom serieus daalt.
- Opzich hoeft je niet uw zonnepanelen niet zo veel te poetsen grootste probleem is mos. Daarom is het interessanter om uw zonnepanelen niet plat te leggen want mos begint vanonder.
- Schaduw blijft wel een probleem.
- Wel oppassen hoe je uw panelen kuist want is met een glaslaag dus er voor zorgen dat je er geen krassen in trekt.

Technologieën:

- Kristallijne panelen:
 - Monokristallijn
 - Polykristallijn
- Dunne film panelen:
 - Amorf silicium a-Si
 - Copper Indium Gallium Selenide (CIGS)
 - ...

Normaal kan je verschil tussen mono en poly panelen wel zien.

- Monokristallijn:
 - Zeer vaak toegepast, vooral bij opkomst van zonnepanelen
 - Gebruik maken van zeer zuiver halfgeleidermateriaal
 - Productie via Czochralski proces:
 - * Smelten zuiver silicium
 - * Opnieuw vormen door een monokristallijn zaadje in de melt te brengen

- * Silicium neemt patroon aan van het kristal, terwijl het stolt
- Staaf verzagen in schijven typisch 200 a 400 μm dik zijn:
 - * Verlies van 20%
- Hoge celrendementen, maar zegt niks over efficiëntie van paneel
- Dure methode, maar gelijkmatige structuur van panelen:
 - * Esthetischer mooier dan polykristallijn
 - * Cellen produceren hoger vermogen per m^2 :
 - Ideaal voor kleinere daken
- Polykristallijn:
 - Goedkopere methode dan productie van monokristallijne cellen:
 - * Vloeibaar silicium in blokken gegoten
 - * Resulteert in een vierkante blok die op zijn beurt in schijven wordt verzaagd
 - * Bij stollen van het materiaal vormen kristalstructuren van verschillende grootte
 - Op grensvlakken treden defecten op, daardoor rendement iets lager dan monokristallijn
 - * Voordeel, er kunnen rechthoekige zonnecellen gemaakt worden:
 - Betere benutting van het paneeloppervlak, compenseert rendementsverlies
 - * Herkenbaar aan blauwe kleur en schakeringen in het paneel
 - * Opbrengst per geïnstalleerde wattpiek verschilt zeer weinig ivm monokristallijn
 - * Als oppervlakte geen rol speelt, opteren voor goedkopere polykristallijn panelen
- Dunne film:
 - Als op glas of een ander substraatmateriaal een fotonvoltaïsche actieve laag wordt afgezet
 - Laagdiktes bedragen minder dan 1 μm (dikte menselijk haar = 50 – 100 μm)

- Verschillende types:
 - * Amorf silicium
 - * Copper Indium Gallium Selenide
 - * Cadmium Telluride
 - * CIGS (Copper, Indium, Gallium, Selenide panelen)* (Buiten-beentje -Nieuw soort dunne film technologie)
- Voordelen:
 - * Eenvoudiger te produceren
 - * Productiekosten lager door lagere materiaalkosten
- Nadelen:
 - * Meeste hebben lager rendement
 - * Vooral nog toekomstgericht
- CIGS panelen toekomst:
 - * Laborendement 20%
 - * Beter dan amorfe panelen

All-in kostprijs PV-installatie=1,3€/WP

3.1.2.1.4 Toekomst:

- Zonneramen:
 - Organische zonnecellen (OPV) samengesteld uit zeer kleine cellen.
 - OPV cellen zijn de 3de generatie zonnetechnologie
- 1. Optimalisatie van de huidige zonnecellen:
 - Een zonnecel is ingeklemd tussen metalen contacten (contactvingers), dit glanzende metaal reflecteert het zonlicht weg van de richting van de halfgeleider
 - Wetenschappers van de Stanford Universiteit kunnen de bovenste reflecterende contactvingers onzichtbaar maken.
- 2. Verdere ontwikkeling van huidige PV-cellen:
 - Multi layer PV-panelen bereiken efficiëntie van meer dan 40

3.1.2.1.5 PV-invertor:

Voorzien in diverse functies:

- Omzetten DC-vermogen → AC-vermogen
- Geïntegreerd scheidingssysteem (volgens synergrid C10/11 - C10/26)
- Maximum power point tracking (MPPT):
 - * Zoeken naar optimaal werkingpunt voor verschillende in-stralingen
- levensduur van 10 a 15 jaar

Verschillende topologieën:

- Centrale invertor
- String invertor:
 - * Individuele MPPT per string
- MIC (Module integrated converter):
 - * Toegepast bij schaduwrijke gebieden

3.1.2.1.6 AC-vorming:

Zelf-commuterende omvormers (meest toegepast):

- Genereren zelf een sinusoidale uitgang:
 - * Hysteresis:
 - Uitgang wordt zo geschakeld dat de uitgangsstroom binnen zeker grenzen overeenkomt met het aangelegde referentie-signaal.
 - * Pulsbreedtemodulatie (=PBM)
 - Meest toegepaste techniek
 - Door het variëren van de breedte van de pulsen ontstaat een sinusvormige stroom: Referentiesignaal vergelijken met een draaggolf

3.1.2.1.7 Maximum power point tracking (MPP):

PV-systeem moet bij maximale vermogensoverdracht werken

Het maximum power point is het werkingpunt waar de meeste energie wordt geleverd:

- Zonnepanelen zijn afhankelijk van stralingsniveau,temperatuur & schaduw
- Al naargelang de externe invloeden veranderen de coördinaten van dit punt
- Methode om dit het optimaal werkingpunt te bereiken is vb. 'Perturb & observe method'

3.1.2.1.8 Rendement:

- Invertoren worden gekenmerkt door een omzettingrendement die varieert met het werkingpunt
- Fabrikanten geven verschillende rendementen mee:
 - Max. efficiëntie versus Europese efficiëntie
 - EU-efficiëntie is een gewogen gemiddelde van rendementen met verschillende instalingsniveaus

Invertor-efficiëntie t.o.v zonneshijndistributie:

- Omvormer werkt voor een groot deel van de tijd aan een laag rendement
- Oplossing kan zijn om de omvormer te onderdimensioneren:
 - bij een zuid gerichte orientatie mag je 10% onderdimensioneren en bij orientatie die tussen 2 (noord-oost/zuid-west) zat mag je zelf 20 tot 30% onderdimensioneren.
- vroeger werd er veel geonderdimensioneerd omdat ze vroeger keken naar uw kVA voor de kosten maar is nu niet meer interessant zeker niet met de digitale meters. Onderdimensioneren blijft wel nog altijd interessant.

3.1.2.1.9 Opbrengstbepaling van een PV-installatie:

- Optimale hellingshoek is afhankelijk van waar het systeem geplaatst wordt:
 - PV-installatie aan evenaar zal vlakker geplaatst mogen worden dan in België
 - Optimale hellingshoek kan bepaald worden via instralingsdiagram:
 - * Optimale hellingsgraad in België:
 - als je noordgericht bent liefst zo plat mogelijk
 - Zuidgericht 35 graden ongeveer
- Een zonnepaneel met vaste oriëntatie vangt voortdurend andere energiedichtheden daar de zon continue van positie wijzigt Gemiddeld hebben zonnepanelen een capaciteitsfactor van 10%, wat neerkomt op een kleine 900 vollasturen op jaarbasis voor België.
- Opbrengst van een PV-installatie bedraagt op vandaag tussen de 850 à 1000 kWh/kWp

3.1.2.1.10 invloed van oriëntatie

- De invloed van de oriëntatie kon eerder al afgeleid worden uit het instralingsdiagram
 - Afwijken van Zuidgerichte installatie leidt tot lagere opbrengst per kWh geïnstalleerd vermogen:
 - * Opgelet, toch voordelen aan niet zuidelijk gerichte installatie:
 - Verschuiven van middagpiek
 - Afhankelijk van eigenaars of werknemers, betere gelijkzijdigheid van profielen
 - Betere bodembedekkingsfactor (= optimalisatie dakbenutting): Meer kWp geïnstalleerd vermogen op hetzelfde oppervlak.

Dak benutting:

- Zuiden: 43.5%
- O/W: 76%

Westelijke orientatie grotere seizoensafhankelijkheid:

- Te veel energie in de zomer → slechtere zc
- Te weinig energie in de winter → slechtere zv

3.1.2.1.11 Analyse jaarprofiel:

- Tot op heden beoogt men veelal om productie gelijk te stellen aan het totaal jaarlijks verbruik.
- Na analyse uit standaard zonneprofiel kan afgeleid worden dat opwekking PV-installatie hoofdzakelijk plaatsvindt in de zomer en lente.
- Veel injectie in net.

3.1.2.1.12 Werkelijke profielen: Plat dak is beter dan hellend dak voor zonnepanelen omdat de achterkant open is van uw zonnepanelen op een plat dak waardoor uw panelen kunnen afkoelen. Bij een hellend dak zit de warmte van uw panelen vast waardoor je een iets slechter resultaat zal hebben.

3.1.3 Wind energie:

- Wind energie heeft haar ontstaan te danken aan de zon
 - Zonnestralen warmen de aardbol op en plaatselijk stijgt de warme lucht
- Windmolens zijn geen nieuwe technologie
 - Vroeger voornamelijk toepassingen voor verpompen van water en het malen van granen.
 - in 1895 - Deen Poul la Cour voorzag een dorp van stroom via windturbine

- Grote interesse in opwekken elektriciteit via windturbine in 2de helft van 20ste eeuw door oliecrisis (prijs fossiele brandstoffen)
- Windmolen != windturbine

Belgie: 5.439.2 MWp is ongeveer de helft van geïnstalleerd MWp voor zon.
Fundering

- Onshore: ondiepe betonfundering
- Offshore 3 types: (Tripod, bucket of monopile) + onderzoek naar floating types

Mast:

- Hoe hoger de mast, hoe breder de voet:
 - 1980: 30m hoog 30 kW
 - 2024: 250m hoog 14 MW
 - * Op zee: vermogen tot 14 MW in aanbouw (Nederland, Denemarken)
 - * Op land: nieuwste generatie heeft vermogen van 5 tot 7 MW

Gondel:

- Generator (direct drive versus tandwielkast)

Wieken:

- Composietmateriaal van polyester & polyurethaan
- Bij detectie van scheurtjes moeten wieken vervangen worden
- Levensduur van 15 a 20 jaar

Vermogen uit wind:

- $P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3$

3.1.3.1 Oefening vermogen van wind:

- Scenario 1: Bereken hoeveel energie er kan geproduceerd worden indien er 100 uur een windsnelheid van 6m/s bereikt wordt voor een oppervlakte van 1m². De luchtdichtheid is 1,255 kg/m³:
 - Energie bij 100 uur bij 6 m/s in 1m²:
 - * $0.5 \times 1,225 \times 1 \times 6^3 \times 100 = 13,230 \text{ kWh}$
 - Bereken hoeveel energie er kan geproduceerd worden indien gedurende 50 uur een windsnelheid van 3m/s gehaald wordt en voor 50 uur 9m/s. De luchtdichtheid is 1,255 kg/m³:
 - * Energie bij 50 uur bij 3 m/s in 1m² en 50 uur bij 9 m/s:
 - $0.5 \times 1,225 \times 1 \times 3^3 \times 50 = 0,827 \text{ kWh}$
 - $0.5 \times 1,225 \times 1 \times 9^3 \times 50 = 22,326 \text{ kWh}$

Snelheid is belangrijk voor dit want in de formule kan je zien dat snelheid tot de derde macht wordt gedaan.

3.1.3.2 Vermogen van wind kan niet volledig worden benut:

- Bepalen werkelijk potentieel via de vermogen coëfficiënt (Cp)
- In 1919 bewees Albert Betz dat voor een ideale windturbine de fundamentele wetten van behoud van massa en energie het niet toelieten om een vermogen coëfficiënt groter dan 16/27 (=59%) van de kinetische energie op te vangen (geldig voor alle conventionele windmolens)
 - Enerzijds zal een gedeelte van de wind om de windturbine heen geleid worden
 - Anderzijds zal de snelheid van de wind achter de windturbine niet gelijk zijn aan 0
 - In werkelijkheid wordt ook het theoretisch optimum niet behaald. Dit wordt beïnvloed door de:
 - * Windsnelheid
 - * type rotor
 - * Tip speed ratio (verhouding tipsnelheid ten opzichte van windsnelheid)

3.1.3.3 Types turbines: 2 soorten:

- Horizontale as windturbine (=meest gebruikte technologie bij grote windmolens) HAT
- Verticale as windturbine (= veelal gebruikt voor kleinere windturbines) VAT

Snellopendheid (λ) ifv vermogenscoëfficiënt (= C_p):

- Snellopendheid is de verhouding tussen de omtreksnelheid van een tip (= snelheid van de vleugeltip) ten opzichte van de windsnelheid. Hoe hoger de puntsnelheid bij een bepaalde windsnelheid, hoe hoger de efficiëntie:
 - Lage snellopendheid = veelbladig type windturbine:
 - * Max. C_p bij lagere snellopendheid
 - * Hoog koppel bij een laag toerental
 - Hoge snellopendheid:
 - * Laag koppel bij een hoger toerental
 - * Geschikt voor het produceren van elektriciteit

3.1.3.3.1 Horizontale as windturbine (= HAT):

- As van de rotor staat parallel met het grondoppervlak en wieken loodrecht op de bewegingsrichting van de wind
- Kunnen van het type upwind of downwind zijn
 - Downwind:
 - * Wiek bevind zich in de schaduw van de mast bij omwenteling
 - * Ontwikkelde koppel van de wiek wordt op dit moment bijna 0, leidt tot een pulserend koppel en vermogensdalin
 - Upwind (= meest gekozen type):
 - * Rotoren staan met hun kop in de wind en verwezenlijken constanter koppel
- Meest toegepaste vorm is de axiale turbine met 3 wieken:

- Goed ontwerp en correcte rotatiesnelheid kan tot 80% van Betz-limiet halen
- Wordt als rustiger ervaren dan een tweewieker (snelheid)
- Lagere geluidsproductie tov tweewieker (door lagere tipsnelheid)
- Duurder dan een tweewieker, dewelke een eenvoudiger ontwerp heeft
- Nog steeds onderzoek naar tweewiekers voor off shore toepassingen
- HAT heeft hogere uitbatings- en onderhoudskost
- Yaw control vereist voor de turbine in de wind te plaatsen
- Slagschaduw

3.1.3.3.2 Verticale as windturbine (VAT):

- Toepassingsgebied voornamelijk bij kleine windturbines in bebouwde omgeving
- Rotorbladen zijn niet afhankelijk van de windrichting, ontwerp zorgt ervoor dat wind altijd gevangen wordt en er dus geen nood is aan een 'yaw control' mechanisme
- Verticale as windturbines zijn afgeleid van de Savonius (=weerstandsprincipe) of Darrieus (= liftprincipe) rotor
 - Weerstand gebaseerde windturbine:
 - * Kunnen niet sneller draaien dan de wind (=max. snelheid van 1)
 - * Meestal gebruikt voor toepassingen waar een hoog koppel verwacht wordt (verpompen water)
 - * Luchtweerstand aan beide zijden van de turbine, dus ook een negatief gegeneerd koppel:
 - Totaal gegeneerd koppel is de som van de beide bladen
 - * Wordt laag bij de grond geplaatst, de windsnelheid is hier lager
 - * Typisch hedendaags gebruikt als anemometer

- Liftprincipe gebaseerde windturbine:
 - * Veel hogere snellopendheid dan weerstandsprincipe
 - * Rendement nadert deze van HAT
 - * Bruikbaar voor productie van elektriciteit

3.1.3.4 Type generatoren/ MPP regeling: Generatoren niet vanbuiten kennen maar wel principe verstaan van grafiek rechtsonder slide 43.

3.1.3.5 Windprofiel:

- Vermogenscurve:
 - Deze curve toon elektrisch vermogen opgewekt voor een welbepaalde turbine bij verschillende windsnelheden:
 1. Windturbine heeft een minimale windsnelheid (= cut-in speed) nodig om rendabel te kunnen functioneren (3-5 m/s)
 2. Bij hogere windsnelheden neemt het vermogen dat uit de wind gehaald wordt toe met de 3de macht van de windsnelheid.
 - * Hiervoor wordt de optimale tipsnelheidsverhouding gebruikt om het maximaal vermogen te verkrijgen bij een bepaalde windsnelheid
 3. Bij hogere windsnelheden zal het vermogen niet verder oplopen:
 - * Nominale rotorsnelheid en vermogen worden gehandhaafd door de wieken te regelen
 4. Boven een bepaalde windsnelheid (= cut-out speed) is het gevaar voor beschadiging te groot en wordt de windturbine gedeactiveerd
- Vermogen moet voor ieder punt zo optimaal mogelijk werken:
 - Mogelijke controlestrategieën:
 - * Stall control (overtrekgeregeling):
 - Bij passieve stall controle worden de wieken onder een vaste hoek gemonteerd

- Profiel van de rotorbladen is op die manier ontworpen dat gebruik gemaakt wordt van de aerodynamische vormgeving/eigenschappen van de wiek
- Bij hogere windsnelheid zal de omtreksnelheid van de wieken gelijk blijven en zal de wind meer van onderen van het wiekprofiel komen:
 Verminderde liftkracht en loslatende stroming (ontstaan turbulentie)
 Niet-gecontroleerde regeling met daling van de rotofficiëntie bij hogere windsnelheden als gevolg.
- * Pitch control (= bladhoekverstelling)
 - Bij deze regeling wijzigt de hoek tussen het rotorblad en de windrichting via een elektronisch regelcircuit op basis van de gemeten windsnelheid
 - Wieken worden zo gericht ten opzichte van de aanstromende wind, dat steeds de maximale liftkracht kan ontstaan en een constante snellopendheid kan behouden blijven:
 Door de wendbare wieken kan deze bij lage windsnelheden loodrecht op de windrichting geplaatst worden (= weerstandsprincipe) om te starten
 Bij voldoende hoge snelheid verandert de controlestrategie om het liftprincipe te kunnen toepassen
 Eénmaal het nominaal vermogen bereikt zal bij stijgende windsnelheden een minder efficiëntebladhoek (lagere lift) ingesteld worden om de rotorsnelheid en het uitgaand vermogen constant te houden
- * Yaw control
 - Naast de regelingen van de wieken van de turbines, wordt de turbine ook altijd gericht op de wind
 - Bij lage tot gemiddelde windsnelheden is de variatie in windrichting groot, terwijl bij grote windsnelheden deze eerder beperkt is
 - Yaw control zorgt ervoor dat de gondel altijd gericht is op de wind om maximale vermogensopwekking mogelijk te maken
 - Staat bovenop de toren

- Als windrichting wijzigt wordt het mechanisme ingeschakeld en zal rotor met snelheid van $0,75^\circ$ per seconde draaien om de rotor terug in de wind te plaatsen
 - Er zit ook een bepaalde vertraging in het systeem bij snel wijzigende windrichtingen
- Opbrengstbepaling van een windturbine
 - Net zoals zon, heeft ook wind een variabel karakter
 - Bepalen van meest geschikte locatie voor het plaatsen van turbines vereist uitgebreid onderzoek
 - Hoe groter het doorstroomoppervlak, hoe groter het geproduceerde vermogen ('hoge bomen vangen veel wind')
- Invloed van hoogte:
 - Op basis van metingen op verschillende hoogtes kan de windsnelheid voor een bepaalde locatie bepaald worden
 - * Hoe hoger de metingen uitgevoerd, hoe meer de windsnelheid stijgt (Verdwijnen van obstakels zoals gebouwen, bosgebieden... (= ruwheidsfactor))
- Opbrengstbepaling van een windturbine
- Invloed van hoogte
 - Windkaarten geven inzicht voor bepaalde hoogtes in bepaalde gebieden
 - Het aantal vollast uren is afhankelijk van de locatie
- Vollasturen offshore toepassingen: ± 3400 uren
- Vollasturen binnenland: ± 2200 uren

3.1.3.6 Windroos:

- Visualiseert de gemiddelde windsnelheid en -richting
- Men kan de verwachte energieopbrengst formuleren voor bepaalde locatie

- inzicht creëren in welke mate er een constante windsnelheid is en wat de overheersende windrichting(en) zijn op een bepaalde locatie
 - Opgelet: overheersende windrichting kan lagere gemiddelde windsnelheid bereiken ten opzichte van andere oriëntaties!!
 - Schatting mag niet gebeuren op basis van gemiddelde windsnelheid en vermogenscurve
- Eénmaal de oriëntatie bepaald werd, kan op basis van de windroos de Weibull-curve uitgezet worden voor verschillende oriëntaties
 - Aan de hand van deze curve kan afgeleid worden bij welke frequentie welk vermogen wordt behaald

3.1.3.7 Analyse jaarprofiel:

- Tot op heden beoogt men veelal om productie gelijk te stellen aan het totaal jaarlijks verbruik
- Na analyse uit standaard windprofiel kan afgeleid worden dat opwekking van windenergie voornamelijk in de winter en herfstmaanden hoog is (omgekeerd evenredig aan zonneproductiecurve)

3.1.4 Evaluatie van profielen:

- Data vereist voor dimensionering

Eigen verbruik voor residentieel gezien is meestal rond de 30%.

- Zelfconsumptie verhouding [Zc]
 - Maat voor de PV-energie die ongenblikkelijk zelf verbruikt wordt
 - Hoe hoger Zc, hoe hoger het economisch rendement van de hernieuwbare installatie. (mate in wanneer je uw installatie terug verdient hebt).
 - $Zc = \frac{\text{energieeigenverbruik}}{\text{energiezonneenergie}}$
- Zelfvoorzieningsverhouding [Zv]

- Maat voor de gevraagde energie die ogenblikkelijk zelf opgewekt wordt
- Hoe hoger Z_v , hoe meer er kan bespaard worden op de energiekosten. (mate voor besparing op energie)
- $Z_v = \frac{\text{energieeigenverbruik}}{\text{energie totaalverbruik}}$

- Je wil liefst dat uw Z_v en Z_c zo hoog mogelijk zijn.

Zelf = consumptie & zelfvoorziening:

- voorbeeld maandprofielen:
 - verbruik: 10 MWh, opbrengst: 10 MWh
 - Verbruik: 10 MWh, opbrengst: 16 MWh
 - conclusie:
 - * Een kleine stijging van de Z_v door het plaatsen van een grotere zonne-installatie is geen economisch optimale situatie
 - * Max. 1:1 dimensionering is aanbevolen, maar alles is afhankelijk van de tariefstructuur
 - * Kleinere installaties hebben een kleinere impact voor de netintegratie en zijn zeker financieel interessant

uw zelfconsumptie en zelfvoorziening moeten elkaar snijden aan 1. Als dit niet zo is heb je ergens een fout gemaakt. Als we ons eigen verbruik willen optimaliseren moeten we links van dit punt kijken. bij een 1/1 installatie kan je 30% direct zelfgebruiken de rest injecteer je op het net. Weet dat dag van vandaag uw oude dimensionering: opbrengst != aan uw verbruik (zeker niet bij bedrijven).

3.1.4.1 Nieuwe dimensionering:

- Algemeen: gebruiker
- Ieder profiel is uniek

Dimensionering opbrengst/verbruik:

- gemiddelde profielen: +-50%

- 'Slechte' profielen +-40%
- 'Beste' profielen +- 60%

Bij residentiele klanten hebben ze geen speciale assets dan mag je van deze cijfers uitgaan.

3.1.4.1.1 Dimensioneringen: Oude tarieven:

- Afname: €0.20
- Injectie €0.04

Nieuwe tarieven (tijdens energie crisis):

- afname: €0.4
- Injectie: €0.16

3.1.5 Vergelijking zon/wind:

Wind is vaak beter dan zon want er is meer overlap tussen de blauwe en rode lijn van onze grafiek. Zon is meer seizoensgebonden en is ook enkel overdag. windt scored in 98% beter dan zon. vb slides: beide evenveel opbrengst als verbruik → zon: 39.55% wind:50.55%

3.1.6 Technologische optimalisatie:

Methodiek optimumbepaling Z_c & Z_v :

- Methode 1: Raaklijnen
 - Optimalisatie van de zelfvoorziening
 - Optimale capaciteit wordt gedefinieerd als snijpunt van de raaklijn bij geen opslag & het plateau-niveau
 - In voorbeeld slides ligt ons optimaal punt ongeveer op 1.15
- Methode 2: Afgeleiden Z_c & Z_v :

- 1ste afgeleide:
 - * Mate van verandering van het eigenverbruik
 - * Steilheid eigenverbruik achterhalen
- 2de afgeleide:
 - * Mate van de verandering van de eerste afgeleide
 - * Bij weinig verandering, geen meerwaarde
- Zones:
 - * groene zoneL optimum bij grootste verandering:
 - Technologisch optimum
 - * Gele zone: variatie voldoende aanwezig:
 - Stijging, maar minder interessant (verder weg met optimum)
 - * Rode zone: bijna geen variatie meer:
 - Serieuze overdimensionering met weinig meerwaarde (behalve bij volledige onafhankelijkheid).

3.1.6.1 Dimensionering:

- Rekenen in absolute eenheden per unit?

$$\text{kWh PU} = \frac{\text{Individuele kWh}}{\text{Som(individuele kWh)}} \quad (\text{PU} = \text{per unit}).$$
 is beter dan alles in kWh uit te drukken want gemakkelijker te vergelijken met andere profielen. via PU rekenen is gemakkelijk en meer overzichtelijk dan alles in kWh te berekenen. achter dat we de PU waarde hebben moeten we het wel terug omrekenen. uw totaal verbruik x uw PU waarde. $Z_c = \frac{\text{eigenverbruik}}{\text{totaalproductie}}$ $Z_v = \frac{\text{Eigenverbruik}}{\text{totaalverbruik}}$

4 week 5:

4.1 Hernieuwbare elektriciteit: wetgevend kader

Exploitatie - Synergrid C10/11: Specifieke technische voorschriften voor elektriciteitsproductie-installaties die parallel werken met het distributienet

- Laatste versie van toepassing sinds 01/11/2019

- Energie-opslagsystemen worden beschouwd als volwaardige elektriciteitsproductie-eenheden
- kleine productie:
 - 1F: $\leq 5\text{kVA}$
 - 3F: $\leq 10\text{kVA}$
- definities:
 - Kleine productie-installaties(s):
 - * Vermogen grens van productie eenheden:
 - * Beschikken over een automatisch scheidingssysteem*
 - Voor spanningsloze werkzaamheden op de aansluiting of op openbaar distributienet, moet erkend zijn door DNB - Synergrid
 - * Indien opslagsysteem aanwezig: EnFluRi sensor
 - Vermogensensor die het in de distributienet geïnjecteerde vermogen beperkt
 - Energieopslagsysteem(*):
 - * Eenheid die in staat is om elektrische energie uit het netwerk van een DNG of het distributienet op te nemen, op te slaan en terug te voeden.
 - * Systemen die via firmware injectie kunnen beletten worden beschouwd als technisch in staat om energie te leveren = vallen onder de definitie!
 - * Systemen die aan DC-zijde gekoppeld zijn met productie-installatie worden beschouwd als niet-synchrone elektriciteitsproductie-eenheid
- Omvormers moeten opgenomen zijn in de C10/26:
 - Merk & type
 - Firmware versie
 - Smax

- Maatregelen/systemen voor LS en HS: automatisch scheidingssysteem:
 - Intern (Synergrid C10/26)
 - Extern (Synergrid C10/21)
- Netontkoppelbeveiligingsrelais (C10/21):
 - Elektr. productie-installatie moet voorzien zijn van een vergrendelbare veiligheidsonderbreking die permanent toegankelijk is voor de DNB (cfr. AREI)
- Kleine prod. Installaties: onnodig
- Niet verplicht als:
 - $S_{max} \leq 30\text{kVA}$ (bestaand + nieuw)
 - Automatisch scheidingssysteem aanwezig (intern of extern)
 - Gehomologeerd toestel
- Verplicht als $S_{max} > 30\text{kVA}$ of als VV^n niet vervuld zijn
- Enfluri sensor:
 - Bidirectionele vermogensensor met communicatieverbinding met energieopslagsysteem

samenvatting:

- $S_{max1F} \leq 5\text{kVA}$ en $S_{max3F} \leq 10\text{kVA}$ (Klein productie-installatie):
 - * Grenzen van productie en opslag gelden APART
 - * Automatisch scheidingssysteem
 - * Vereenvoudigde procedure
- $S_{max} \leq 30\text{kVA}$ (!= Kleine productie-installatie):
 - * Grens is voor SOM van de DP & Opslag
 - * Automatisch scheidingssysteem (of Netontkoppelbeveiliging)
 - * Standaard procedure
- $S_{max} > 30\text{kVA}$: Netontkoppelbeveiliging noodzakelijk

exploitatie:

- andere benodigdheden:
 - Synchrocheck-relais (C10/24):
 - * Productie-installaties die synchronisatie met netspanning moeten uitvoeren (bijv. Synchrone machines of Eilandwerking)
 - Export-begrenzing relais (C10/25):
 - * Modaliteiten bepaald d.m.v. studie van DNB:
 - Nulwattrelais (Bijzonder geval: kortstondig parallelwerking)
 - Relais voor begrenzing van injectievermogen
- Minimumspanningsrelais ($S_{max} > 250$ kVA):
 - Opgelegd door DNB voor situatie waarbij:
 - * Netontkoppelrelais niet/slecht toegankelijk is;
 - * Nieuwe DP waar oude DP met oude beveiliging aanwezig is;
 - * Loss of mains met lage effectiviteit of fail-safe deels aanwezig
 - Onevenwichtsrelais (3F-systemen):
 - * Verplicht als systeem uit meerdere 1F-systemen bestaat en risico op onevenwicht > 5 kVA:
 - Tripwaarde moet ingesteld worden op 5 kVA

Typologieën:

- AC - topologie:
 - PV-omvormer kan voor of achter net-interactieve omvormer geplaatst worden naargelang dimensioneringscriteria
 - Indien PV-omvormer na de net-interactieve omvormer staat, kan systeem in eiland werken
 - Typische waarden voor rendementen:
 - * Rechtstreeks verbruik: 97-98% (DC omzetten naar AC en direct in ons net (thuis) gebruiken)

- * Via opslag: $95\% \cdot 95\% \cdot 98\% = 88\%$ (door batterijomvormer voor we in batterijopslag steken voor later gebruik. als we het gebruiken dan moeten we weer door de batterijomvormer. (95% rendement omvormer)) In praktijk zal dit nog wat lager zijn door rendement batterij.
 - Automatisch scheidingssysteem & enfluri sensor moeten voorzien worden
- DC - topologie:
 - PV-omvormer wordt vervangen door MPP-tracker aangesloten op de DC-bus van de net-interactieve omvormer
 - MPPT heeft hoger rendement dan PV-omvormer
 - Hogere efficiëntie rechtstreeks naar batterijen
 - Typische waarden voor rendementen:
 - * Rechtstreeks verbruik: 99×95 (0.9405%)
 - * via opslag: hoger dan in AC
 - Automatisch scheidingssysteem & Enfluri sensor moeten voorzien worden

DC systemen zijn interessanter voor mensen die overdag niet vaak thuis zijn omdat rendement via opslag hoger is dan in AC systeem. De DC systemen worden meer en meer geïnstalleerd.

5 week 6:

5.1 Energieopslag:

Enkele voorbeelden van opslag zijn:

- Batterij
- Waterstof
- Ijsbuffer
- Water

- Supercapacitor
- SMES
- Vliegwiel

Enkele redenen waarom we sommige systemen nog niet zoveel gebruiken zijn:

- rendement
- Prijs
- ...

P vs E:

- Vermogen (MW, GW, ...) tegen energie (MWh, GWh, ...), sommige systemen kunnen gemakkelijk hoge vermogens opwekken maar enkel voor korte tijd dus het is belangrijk om tegen elkaar te vergelijken.

Kennis opdoen omtrent opslagsystemen en categoriseren volgens mogelijkheid tot implementatie in bedrijven:

- Mechanisch:
 - PHS (water)
 - CAES (compressed air)
 - FES (vliegwiel)
- Chemisch:
 - p2g (waterstof)
 - Fuel cell
- Elektrisch:
 - SMES (superconductor)
 - SES
- Elektro-chemisch:

- Batterijen
- Thermisch:
 - LAES (Liquid air)
 - PCM (phase changing materials (liquid to solid en omgekeerd))

Op dag van vandaag is opgepompt water nog altijd de grootste vorm van energie. Percentage is gedaald met vroeger maar capaciteit is nog altijd vergroot. Komt gewoon vooral dat andere systemen al wat meer populair worden, vooral batterijen. in 2021 hadden we 28 GWh aan energieopslag van batterijen. in 2023 ligt dit dichterbij 90 GWh. Dit gaat redelijk parabolisch omhoog en dat zal voor tijd zo blijven. Elke opslag heeft zijn eigen specificaties, wat wil je met het opslagsysteem doen?:

- Frequentiecontrole
- Piekvraag
- Optimalisatie van Z_c & Z_v

Kosten van energieopslag zijn kritiek:

- Veel opslagtechnologieën zijn op dit moment nog te duur, maar tot 2030 wordt een enorme daling verwacht.
- Investerings in opslagsystemen zullen haalbaarder worden voor zowel grotere bedrijven, KMO's of (gedeelde) huishoudens.
- Een hedendaagse batterij kost ongeveer +-600 euro per kWh alles daarboven is een slechte deal. We verwachten in de komende jaren zelf nog een daling.

5.1.1 Begrippen:

- State of charge (SoC):
 - Maat van de hoeveelheid energie die in een opslagsysteem beschikbaar is, uitgedrukt in procent.

- De SoC geeft de gebruiker informatie over hoe lang het opslagsysteem nog kan presteren voordat het moet worden opgeladen.
- Depth of discharge (DoD):
 - Verwijst naar de hoeveelheid energie die in een bepaalde cyclus in en uit het opslagsysteem wordt gehaald.
 - Uitgedrukt als een percentage van de totale capaciteit van het opslagsysteem
- State of health (SoH):
 - Geeft de toestand van het opslagsysteem aan in vergelijking met de ideale omstandigheden
- C-rate:
 - De C-rate is een maat voor de snelheid waarmee een batterij wordt opgeladen of ontladen.
 - Het wordt gedefinieerd als de stroom door de batterij gedeeld door de theoretische stroomafname waarbij het opslagsysteem zijn nominale capaciteit in 1 uur zou leveren. Meeste batterijen dag van vandaag hebben een waarde van 0,5C.
- Charge/discharge time:
 - Tijd die nodig is om het opslagsysteem volledig op te laden of te ontladen.
 - De impact van de laad-/ontlaadstroom is belangrijk om rekening mee te houden
 - Hoe lager de laadstroom, hoe effectiever het laden
 - Vuistregel - De laadstroom kan 10 à 20% van de C20-snelheid zijn
- Peukert coefficient:
 - Geeft bij benadering de verandering in capaciteit van batterijen weer bij verschillende ontladpercentages.

- Naarmate de ontladsnelheid toeneemt, neemt de beschikbare capaciteit van de batterij af, volgens de wet van Peukert.
- We laden meestal batterijen op maximale stroom op tot ongeveer 80% en dan laten we de stroom zakken zodat de batterij niet kan ontploffen.:
 - * Bulk/boost fase = CST I, U stijgt (korte tijd voor veel energie).
 - * Absorption fase = CST U, I daalt (zal lang duren voor weinig energie).
 - * Float fase = lagere U voor zelfontlading
- Zelfontlading:
 - Is een fenomeen in opslagsystemen dat de opgeslagen lading van de batterij vermindert zonder enige verbinding.
 - Zelfontlading is permanent en kan niet worden teruggedraaid.
 - Zelfontlading neemt toe met veroudering, cycli en verhoogde temperatuur
 - Belangrijke parameter in opslagsystemen zoals batterijen, vliegwielen en supercondensatoren.
- Temperatuurseffect:
 - Temperatuur is van invloed op het vermogen van sommige opslagsystemen (bijv. accu's)
- Cyclus:
 - De meest gebruikte cyclus wordt berekend aan de hand van de energie die in/uit een opslagsysteem gaat en gedeeld door de totale doorvoer van energie naar capaciteit.
 - Ook bekend als Equivalent full cycles.
- Energie dichtheid:
 - Hoeveelheid energie opgeslagen in een gegeven massa (of volume)
 - Wanneer een systeem een hoge energiedichtheid heeft, is het in staat veel energie op te slaan in een kleine hoeveelheid massa.

- Een hoge energiedichtheid betekent niet noodzakelijk een hoge vermogensdichtheid
- Vermogensdichtheid:
 - Hoeveelheid vermogen in een gegeven massa (of volume)
 - Als een systeem een hoge vermogensdichtheid heeft, dan kan het grote hoeveelheden energie produceren op basis van zijn massa.
 - Een kleine condensator kan hetzelfde vermogen hebben als een grote batterij
 - Systemen met hoge vermogensdichtheid kunnen ook snel opladen

5.1.2 Overzicht technologieën:

Zeker enkele karakteristieken kennen van elk systeem voor examen als we bvb vergelijkingen moeten doen!

5.1.2.1 Pumped hydro (PHS) Algemeen:

- Één van de oudste technologieën gebruikt voor energie opslag
- Gebaseerd op synchrone opwekking (omzetting van kinetische naar mechanische energie):
 - Het leveren van kritieke ondersteunende diensten aan het net, door het leveren van inertie-, frequentie- en spanningsondersteuning en voldoende ondersteuning voor het storingsniveau.
 - Lage prijzen (21 USD/kWh) per kWh opgeslagen energie
 - Niet efficiënt voor het opslaan en vrijgeven van energie:
 - * Max. vermogen = $9,81 \cdot \text{debiet} \cdot \text{densiteit van water} \cdot \text{hoogteverschil}$
 - * 10 badkuipen van 100 liter op 10 m produceren 0.02 kWe
- Voorbeeld België - Watervallen van Coe:
 - 2 bovenbassins met een totaal watervolume van 8.5 miljoen

- Onderbasin zelfde volume (71 hectare)
- Maximaal vermogen = 500 m³ water per seconde
- Coö kan 1164 MW leveren gedurende 6 uur
- Energie atol:
 - Oplossing voor landen die geen groot hoogteverschil hebben
 - Specificaties voorbeeld atol in België:
 - * Lengte 4 km & breedte 2.5 km
 - * 550 MW & 2000 MWh
 - * Prijs:
 - Investeringskost: 1,3 tot 1,7 miljard euro
 - Operationele kost: 5,6 Miljoen euro per jaar
 - * Levensduur= 50 jaar

5.1.2.2 Batterijen: Battery storage is (almost) ready to play the flexibility game. Verwachtingen:

Historisch daalde de prijs door technologische innovatie, in 2023 is dit door de lagere grondstofkosten (vooral lithium)

- 2023: Prijs blijft 150 dollar/kWh
- 2024: Prijs zal terug dalen door verhoogde extractie & extra capaciteit
- 2026: Prijs moet onder 100 dollar/kWh gaan
- → 2 jaar later dan initeel voorzien, probleem voor EV sector voor massaproductie

Batterij technologieën:

- overzicht:
 - Veel technologieën en er moeten er nog veel meer bijkomen.
 - Nieuwe generatie Li-ion batterijen:
 - * Met actuele materialen & cel designs, wordt verwacht dat Li-ion technologie aan zijn limiet zijn binnen de komende jaren.

- * Zeer recent hebben ze nieuwe families van schadelijke actieve materialen die nieuwe limieten mogelijk maken.

Verschillende technologieën:

- Loodzuur batterij:
 - Elektrodes: Pb, electrolyt: S + gedistilleerd H₂O
 - Discharge: $\text{PbSO}_4 + 2\text{e}$
 - Gel or AGM. (gel batterijen mag je plat leggen)
 - 2 categorieën:
 - * FLA (Flooded lead acid) - onderhoud noodzakelijk
 - * VRLA (Valve regulated lead acid)
 - Dimensionering van elektrodes afhankelijk van gebruik
- Li-ion (ex. LFP):
 - Elektrodes van LFP: $\text{LiFe(PO}_4\text{)}$ als kathode, Graphitic carbon electrode met metallic backing als anode, electrolyte: Li-ion zout
 - Veel varianten
 - Zal wel iets groter zijn dan andere soorten batterijen.
- Lithium batterij:
 - Betere levensduur:
 - * Probleem: Elektrolyt gaat langzaam stuk aan oppervlak batterij
 - * Oplossing: Elektrolyt van 5 zouten mixen i.p.v. 1 à 2:
 - Stabieler oppervlak elektrolyt en elektrodes
 - Platte batterij (LeydenJar):
 - * Elektrodes van LFP: $\text{LiFe(PO}_4\text{)}$ als kathode, Silicium als anode, electrolyte: Li-ion zout
 - * Beginstadium: 100 - 1000 oplaadcycli mogelijk
 - Platte batterij (Blade Battery):
 - * Zonder modules (zoals in smartphone ipv rond)

- * Compacter en beter regelbaar
- Toekomst Lithium batterijen:
 - * Solid State batterijen (Lithium Metal, ...):
 - Vloeistof veranderen door keramiek of andere vaste metalen
 - * Zoutwater Batterij:
 - Gesmolten zand
 - 10x goedkoper
 - Kamertemperatuur
 - * Veel andere mogelijkheden
- Hergebruik - Recycling:
 - * Recyclage:
 - Lithium accu's 98% recycleerbaar
 - Lithium kathoden kunnen beter presteren bij hergebruik na recyclage
 - Norm - Motiveren!
 - Second life batterij - Hergebruik
- Flow batterijen:
 - Herlaadbare batterij waarin 2 oplossingen (catholyte & anolyte) gescheiden zijn via een ion doorlatend membraam.
 - De elektrode vloeistoffen zijn opgeslagen in afzonderlijke tanks:
 - * Anolyte wordt geoxideerd op de elektroden
 - * Katholyte neemt elektronen en wordt gereduceerd
 - * Zolang er genoeg anolyte & katholyte beschikbaar is, gaat de elektronen overdracht door...
 - * Bij tegengestelde spanning is er een tegengestelde reactie (omkeerbaar proces)
 - Vermogensdichtheid is onafhankelijk van de batterijcapaciteit
 - Grootte van de tank bepaald de opslagcapaciteit
 - Geen DoD
 - Levensduur hangt af van:

- * Temperatuur
 - * Grootte van de ontladstroom
- Beperkte maturiteit:
 - * Zinc - Bromide - technologie
 - * Vanadium Redox technologie
- Pompen en kleppen zijn vereist
- Andere:
 - Nikkel-ijzer batterij:
 - * Uitgevonden door Thomas Edison
 - * Nikkel & ijzer & een alkaline 'elektrolyt'
 - * Batterij kan niet over- of onderladen worden
 - * Ongelimiteerd aantal cycli?!
 - * Moet hervuld worden met gedistilleerd water
 - Zout water batterij:
 - * Milieuvriendelijke batterij opslag
 - * Robuuste technologie & DOD van 100%
 - * Betrouwbaar en onderhoudsvrij
 - * Niet brandbaar, niet explosief, veilig aanraakbaar
 - * Overladen niet mogelijk!

5.1.2.2.1 Recycling van batterijen:

- Lood, Nikkel, Cadmium,... Zijn zware metalen, schadelijke stoffen komen alleen vrij bij de productie en recycling!
- Recycling is belangrijk -> Acceptatie verplichting!
 - Vlaamse en Europese regelgeving bieden verplicht inzamelpunt (België = BEBAT)
 - Opvolging door OVAM
 - België behoort tot de top in Europa
- Ex. Loodzuur batterij:

- Zwaar metaal
- Resulteert in afnemende hersenfuncties en gedragsproblemen wanneer het in de bloedsomloop komt
- Indien ingesloten in het batterijpak, kent het geen risico's. Alleen bij de productie (4%), verwerking en recycling (2%) kunnen loodemissies optreden
- 75% vermindering van loodemissies in de laatste 20 jaar!
- Meer dan 90% van de loodzuur-batterijen kan worden gerecycleerd (bijna gesloten kringloop!)
- Ex. Lithium batterij:
 - Gevaarlijk bij contact met water (explosie)!
 - * Lithium reageert heftig met water en veroorzaakt brand en explosie
 - * Recycling Li-ion batterijen blijft immatuur & duur. Snelle daling wordt hier niet verwacht
 - * Hoewel de kosten voor het volledig recyclen van een batterij dalen tot 1 euro per kg (ongeveer 10 euro per kWh), is dit ongeveer 3 keer meer dan wat kan worden verwacht van de verkoop van de gerecycleerde materialen op de markt
 - * Momenteel wordt slechts 3% van de li-ionbatterijen gerecycleerd

5.1.2.2.2 Second life batterijen:

- Second-life EV batterijen: De nieuwste waardepool in energieopslag:
 - Verwacht wordt dat tegen 2025; 3,4 miljoen gebruikte batterijen voor elektrische voertuigen op de markt zullen komen, goed voor een cumulatieve capaciteit van 95 GWh
 - Hergebruik van oude accu's van elektrische voertuigen om een (grootschalig) opslagsysteem te bouwen.
 - * Ex. Bosch, Vattenfall & BMW hebben een second life batteries alliantie opgericht

- Batterijen die voorheen in BMW elektrische voertuigen werden ingebouwd en die het einde van hun levenscyclus in het voertuig hebben bereikt
- De batterijen worden samengevoegd, getest en opnieuw bekabeld
- * Ex. Nisan Energy & OPUS campers:
 - Smart camping
 - Accu's kunnen een week lang stroom leveren voor avonturen zonder netaansluiting (700 MWh en 1 kW uitgangsvermogen)

5.1.2.2.3 batterijen EV's:

- 25 tot 105 kWh batterij (400-800V technologie)
- Meest gebruikte technieken:
 - Blade Battery Pack:
 - * LiPo4
 - Battery Pack with modules:
 - * Li-Ion

5.1.2.2.4 Dimensionering:

- Ex. Batterij & PV-installatie - residentiele woning:
 - Wanneer opslag wordt toegevoegd, nemen zelfconsumptie en zelfvoorziening toe
 - Verzadiging treedt op door het dagelijkse en seizoensgebonden karakter van zonne-energie
 - Overdimensionering van opslag biedt geen toegevoegde waarde!!!

In deze grafiek van zelfconsumptie en zelfverbruik (bij 1 op 1) is de batterij er nog niet in berekend daarvoor heb je de andere lijnen op de grafiek is dit met gebruik van batterij.

Net onafhankelijkheid - Laagspanningsnet (Uitval tussen 17 - 20 uur)

5.1.2.2.5 Individueel versus groep:

- Evaluatie van individuele versus community oplossingen (toekomstige LEC/CEC/REC)
 - Volgens de distributienetbeheerder hebben 75% van de voedingslijnen maximum 30 connecties
 - Literatuur toont aan dat de grootste impact op community afgeleid kan worden door het aggregeren van 15 tot 20 woningen, nadien treedt saturatie-effect op

groep batterij zetten is opzich beter omdat je die pieken niet zal hebben omdat je batterij groter is waardoor uw cycli verbeteren waardoor de levensduur beter is. bvb voor 30 woningen kan je een dan een batterij zetten van 28kWh/28kWp. Wordt in de praktijk al gebruikt maar niet echt voor laagspanningsnetten. Fluvius mag dit niet plaatsen omdat ze wettelijk gezien dan energieleverancier zouden zijn ipv energiedistributeur.

5.2 Energieopslag (hoofdstuk 5)

5.2.1 Waterstof:

waterstof als opslagmedium

- productie via elektriciteit:
 - Green hydrogen
 - Purple/pink hydrogen
 - Yellow Hydrogen
- Productie via fossiele brandstoffen:
 - Blue hydrogen
 - Turquoise hydrogen
 - Grey Hydrogen
 - Brown Hydrogen
 - Black Hydrogen

meest voorkomende elektrolyser dag van vandaag is de PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)

5.2.2 Optimaal gebruik van RES & opslag:

5.2.2.1 Profiel analyse:

- Klassieke consument → prosument:
 - Hernieuwbare energie
 - Opslag
- Omvormers = interface
 - AC/DC koppeling
 - Stroomlimiet
 - Spanningsbereik
 - Controle laag
- Opslagtechnologie naar analogie met "Merit Order":
 - $\frac{KW}{KWh}$ energie- en vermogensdichtheid
 - Levensduur of # cycli binnen grenzen SOH
 - Zelfontlading, cyclusefficiëntie

Data vereist voor dimensionering(analyse):

- Mogelijkheid 1: Kwartierdata opvragen (Via API):
 - Analyse kwartierdata versus seconden data:
 - * Geen kortstondige pieken zichtbaar in uitgemiddelde kwartierdata, dus geen nood aan dimensionering opslag door minimale netimpact?!:
 - Groot verschil tussen werkelijkheid en metingen!!
 - Weet in welke mate uw profiel een uitgemiddeld of gepiekt profiel is voor de correcte dimensionering!
 - Analyse kwartierdata versus secondedata voor type profielen:
 - * Verbruiksprofiel afwijking 7%, bij zonneprofiel een afwijking van 62% en windprofiel afwijking van 60% van kwartier en secondedata
 - * Type datasets van uitermate belang voor dimensionering:

- Secondedata → Levensduur en installatiekost (kVA)
 - Kwartierdata → Factuur en basisdimensionering Z_c en Z_v (=energiewinst)
 - * Benutting wind is groter dan zon (wind varieert continue, terwijl zon typisch dag/nacht patroon)
- Mogelijkheid 2: Eigen meetcampagne (EMS systeem of kortdurende meting):
 - Voorbeeld:
 - Meten en berekenen?!
 - Real time opvolging

5.2.2.2 Analyse Z_c , Z_v ifv hernieuwbare en opslag

5.2.2.2.1 Residentieel:

- Individueel versus groep
 - Evaluatie van individuele versus community oplossingen (toekomstige LEC/CEC/REC)
 - * Volgens de distributienetbeheerder hebben 75% van de voedingslijnen maximum 30 connecties
 - * Literatuur toont aan dat de grootste impact op community afgeleid kan worden door het aggregeren van 15 tot 20 woningen, nadien treedt saturatie-effect op
 - Zowel voor woningen evenals bedrijven kunnen energiegemeenschappen grote meerwaarde creëren:
 - * Voor woningen wordt al saturatie van profielen gezien vanaf 5 profielen
 - Betere benutting opslagcapaciteit en kleinere opslagcapaciteit vereist Overdimensionering heeft geen zin!

5.2.2.2.2 Industrieel: (vuistregel bij industry 0.5kWh per MWh)

- In welke mate is categorisatie van profielen bij bedrijven mogelijk?
 - Op basis van NACE codes geen duidelijke categorisatie
 - Clustering op basis van karakteristieke parameters (aansluitcapaciteit, type ploegenstelsel, categorisatie type bedrijven,...)
 - * Categorisatie blijft leiden tot te grote diversiteit in profielen
- Individuele analyse - optimumbepaling:
 - Methode 2: Afgeleiden
 - * Technologische optimalisatie (via afgeleiden)
 - * 1ste afgeleide:
 - Mate van verandering van het eigen verbruik. Bepaald de steilheid van het eigenverbruik
 - * 2de afgeleide:
 - Mate van verandering van de 1ste afgeleide
 - * Meer keuzevrijheid ifv economische incentive?!
 - Groene zone: Optimum in geval van grootste verandering
 - * Technologisch optimum ifv Z_c en Z_v
 - Gele zone: Voldoende variatie
 - * Stijgen van eigenverbruik, maar steeds minder optimaal
 - Rode zone: Bijna geen variatie meer
 - * Grote overdimensionering met weinig bijdrage tot optimalisatie (behalve voor volledige onafhankelijkheid)