

Accelerating the energy transition with modular building (PLE)

Jelena Marincic, TNO
20 November 2025



**BITS&CHIPS
EVENT**

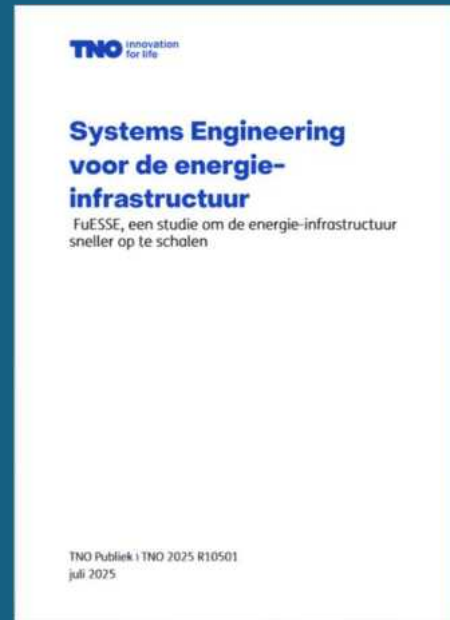
20 November 2025 Van der Valk Eindhoven-Best

TNO innovation
for life



FuESSE: A joint study with grid operators and TNO

Teun Hendriks,
Jelena Marincic,
Jacques Verriet,
Rob Ekkel
Bas Huijbrechts



TNO innovation
for life



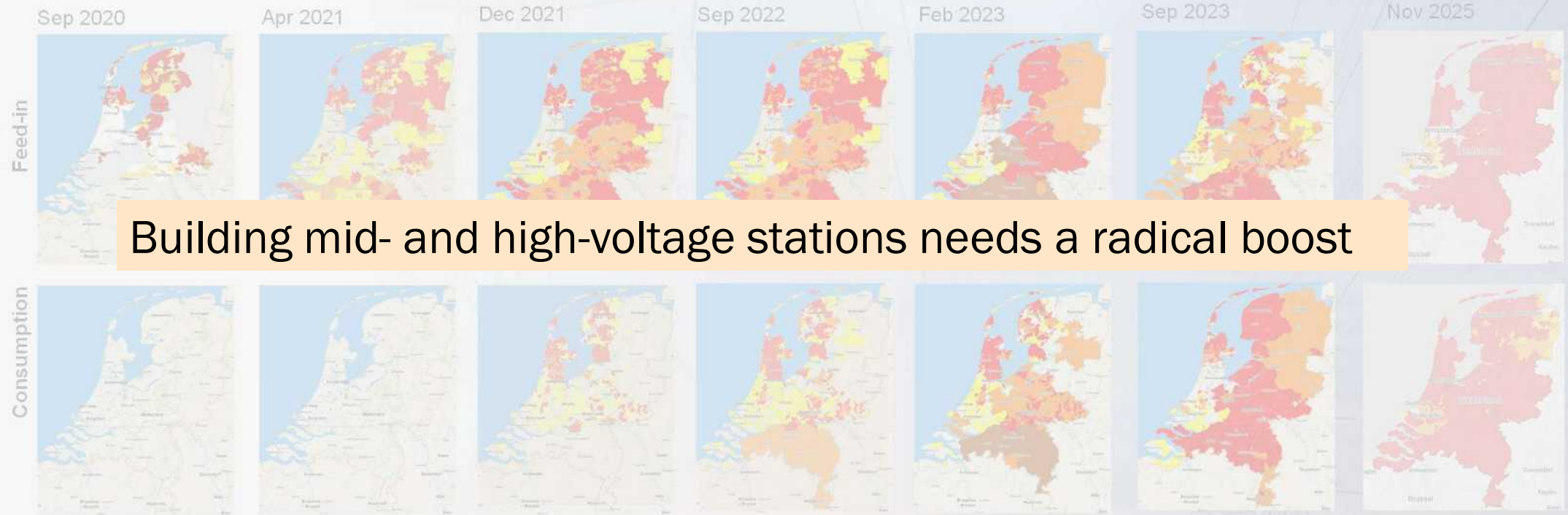


[Kunst op MS/LS-stations | Enexis Netbeheer](#)

› ENERGY TRANSITION IN THE NETHERLANDS

- › To help combat climate changes, by 2050, the Netherlands wants to be using energy **from sustainable sources only**
- › Using a combination of
 - › *Wind, Solar, Nuclear, Heat networks*
- › It enables more sustainable industry
- › It requires
 - › Expanding energy infrastructure
 - › Using energy differently

NEW CONNECTIONS FACE A WAITING LIST



<https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl/>

Adapted from:
[Big things need to get done](#), Roy Besselink, Tennet

RADICAL MEANS 3 TIMES MORE PRODUCTIVE, MUCH LARGER VOLUME

STEDIN building challenge

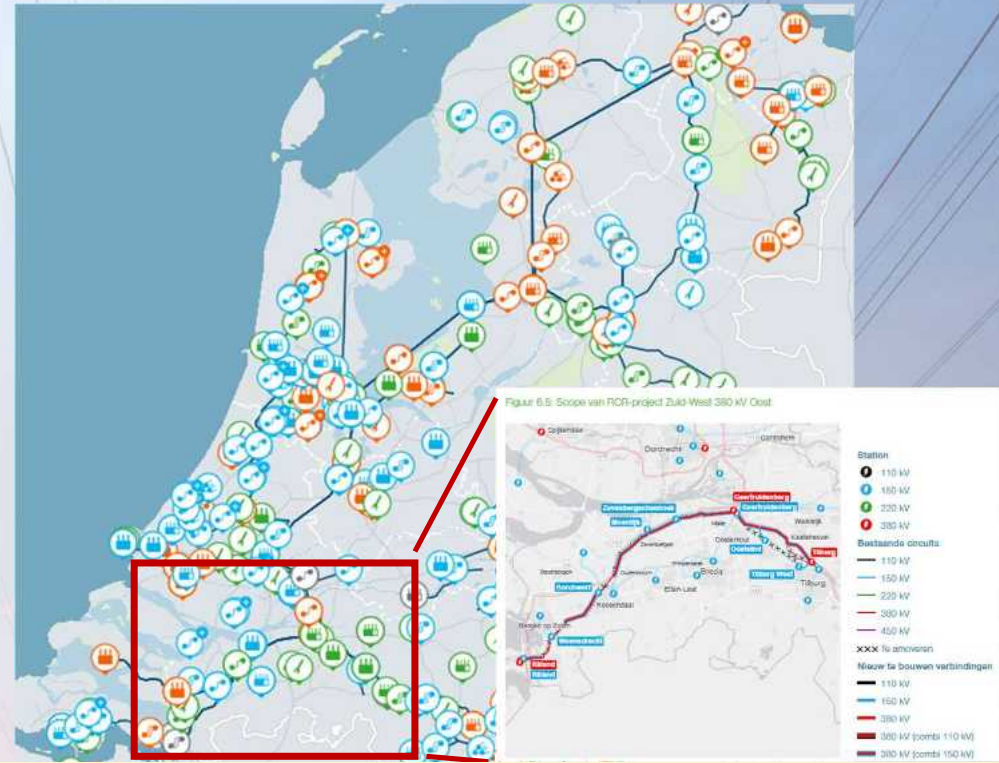
“Our goal: 3 times more, 3 times less. That means building 3 times more, but 3 times less labor intensive. Because we only have 1/3 of the people to do the job.”

Provincie Utrecht

Aantal belangrijke grootschalige projecten TenneT en Stedin tot 2030 uitgelicht.

Totale investeringen: 740 miljoen euro

Legenda



TenneT building challenge

“We can no longer afford to work at a pace of ‘bottleneck by bottleneck’”

- Do 3 times more work with twice as fast project execution
- Expanding infrastructure at 350 locations in NL

CONSTRAINTS TO EXPANSION

- › Limited land
- › Prolonged permit process
- › Labor shortages

significantly hinder timely electricity grid development.



Foto: Laadpalen en straatverlichting drie keer sneller aansluiten met nieuwe, compacte aansluitmodule

FOCUS OF THIS TALK IN THE CONTEXT OF GRID EXPANSION

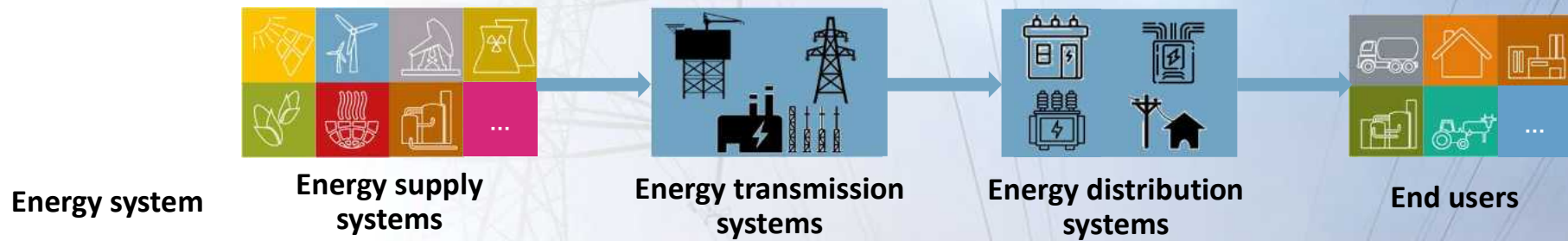
Main question: How can **Systems Engineering** methodologies help increase productivity?

Sub-questions:

How can Standardization and **PLE (Product Line Engineering)** approach help?

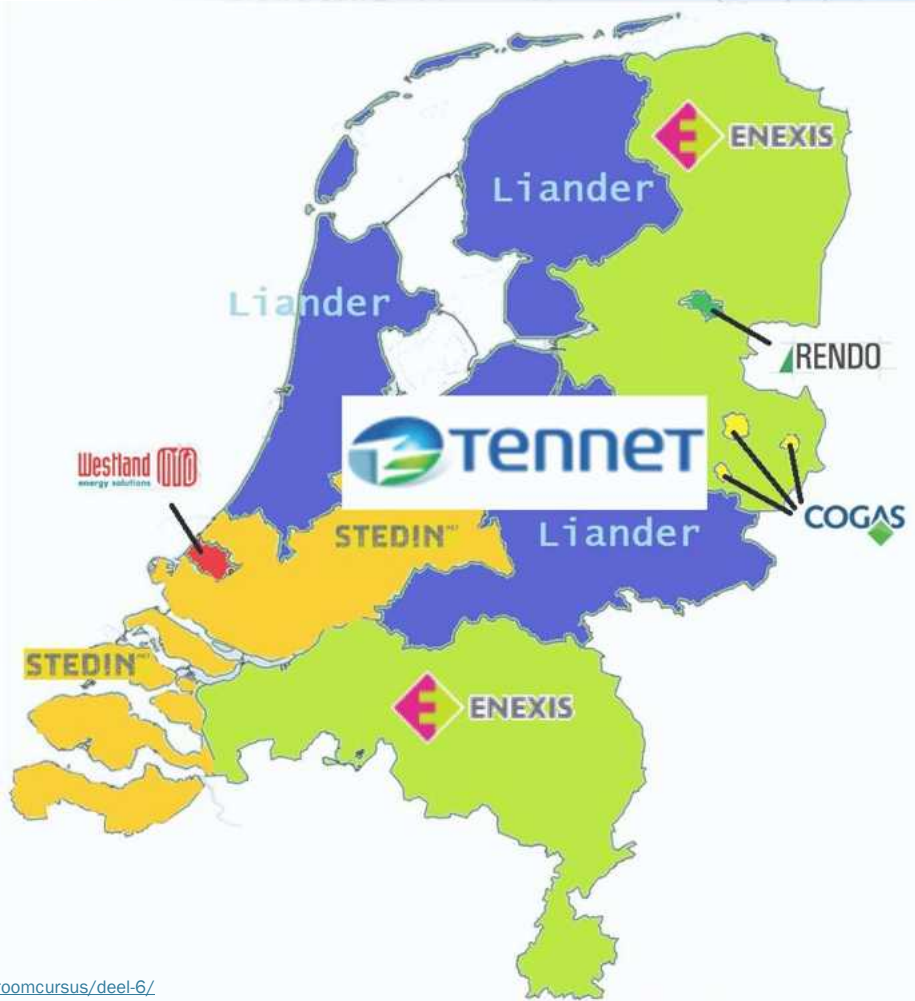
What can be learned from **high-tech industries'** PLE approaches?

› ELECTRICITY GRID SYSTEM



Hoogspanningscomponenten - Qirion

NATIONAL AND REGIONAL GRID OPERATORS



Adapted from:
<https://www.hoogspanningsnet.com/stroomcursus/deel-6/>

THE VALUE OF SE FOR THE ENERGY TRANSITION

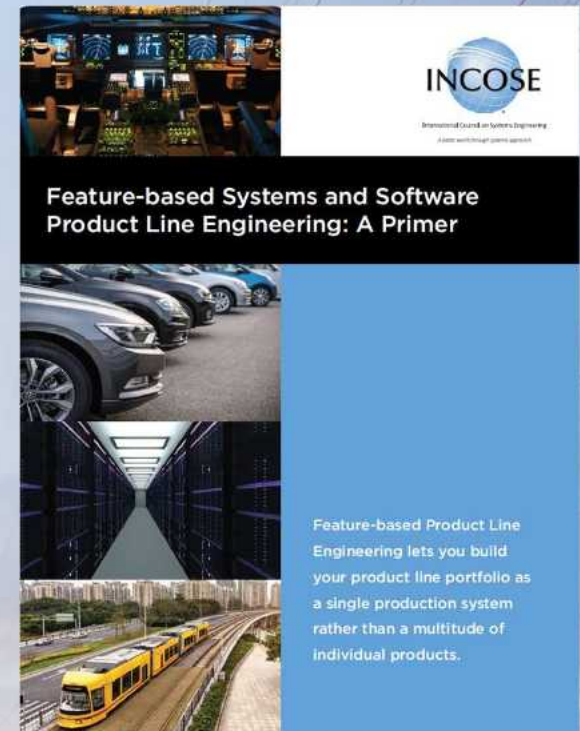
OBSERVATIONS – CONCLUSIONS FOR THE ENERGY TRANSITION



1. Grid operators share problems, but tackle them differently
2. Each grid operator works independently on standardization
3. It is now too late to develop joint realization standards
4. Product line development is not seen as SE
5. Contractor cooperation still in development at most parties
6. Transfer of information not optimal, both internally and externally
7. Trust between operators and contractor parties must grow

› PRODUCT LINE ENGINEERING (PLE)

- › PLE enables organizations to efficiently engineer a portfolio of similar systems by leveraging **commonalities** and managing **variability**.
- › Successfully adopted in aerospace, automotive, high-tech and defense,
 - › where systems are increasingly modular, configurable, and expected to evolve rapidly
- › Feature-based PLE treats the product line as a single production system rather than a collection of individual products



› **PRODUCT LINE ENGINEERING: AUTOMOTIVE**

FEATURES, ASSETS, CONFIGURATOR

(ISO/IEC 26580:2021)

- › Example of a user (buyer) configuring their car
 - › Business strategy: maximal offer with minimal variation
 - › Selection
 - › Model
 - › Key standard features
 - › Optional packages and standalone options
 - › Feature constraints
 - › Govern valid configurations
- › The layers in the reference model for feature-based PLE
 - › **Business organization management**
 - › Technical organization management
 - › Technology



MID-VOLTAGE STATION CONFIGURATION ALLIANDER

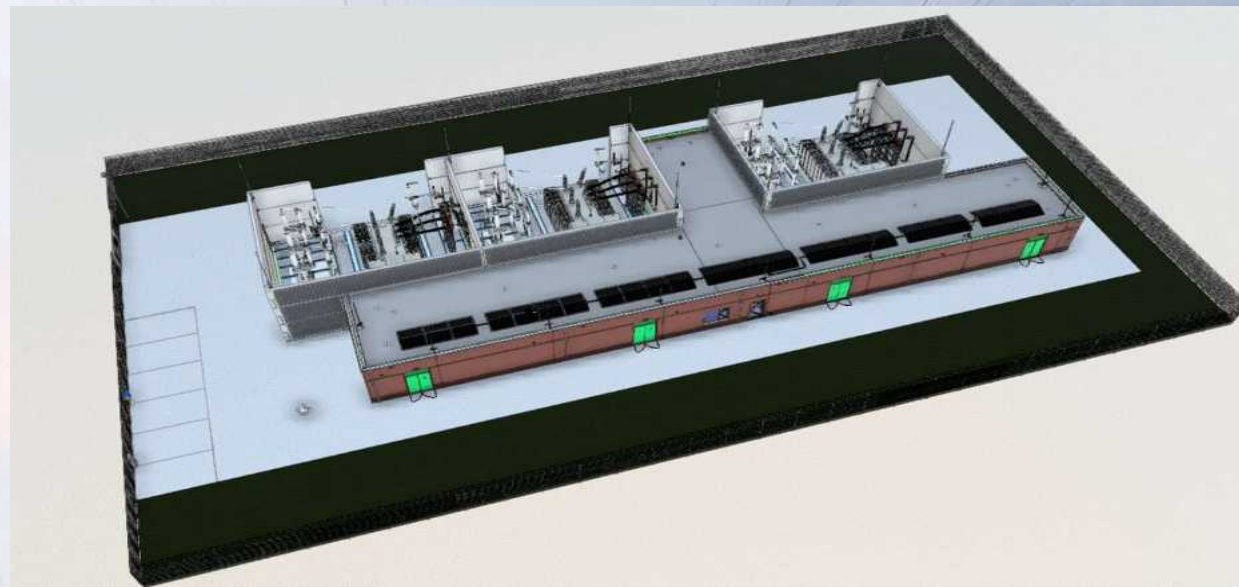
150/20KV CONVERSION, 160MVA: 3 TRAFOS AND 2X22 OUTGOING FIELDS

Station anatomy

- Primary installation:
 - *Electricity (conversion)*
 - *Transformer, switchgear, cables*
- Secondary installation
 - *Station control & automation*
- Tertiary installation
 - *Buildings and facilities*

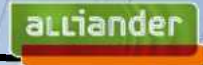


Adapted from [Alliander Modulair Bouwen](#)

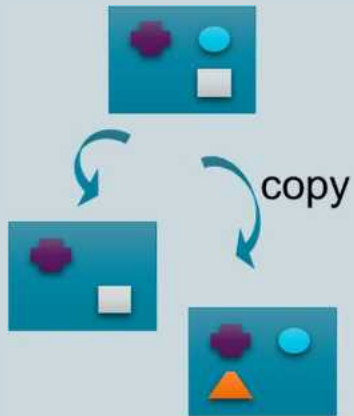


PRODUCT LINE ENGINEERING FOR GRID OPERATORS

CONTEXT INFLUENCES CHOSEN APPROACH

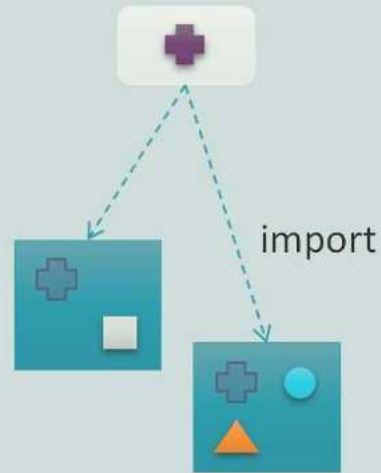


Clone & Own



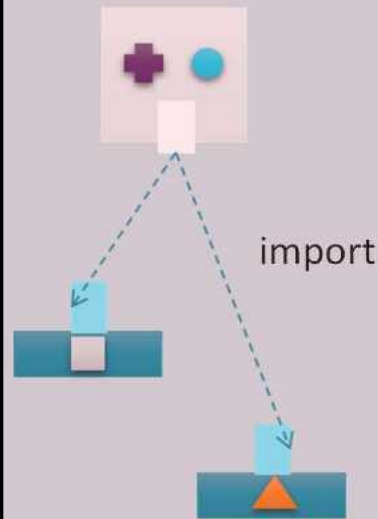
- + easy to use
- no sharing (features & fixes)

Component Library



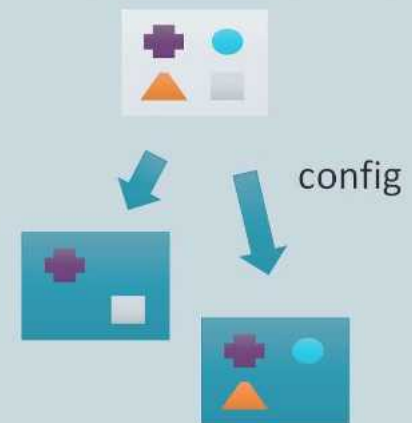
- + component sharing
- little design support

Framework Library



- + substantial reuse
- complex variability

Superset Platform



- + substantial reuse
- complex variability

Comparison of High-tech and Energy sector

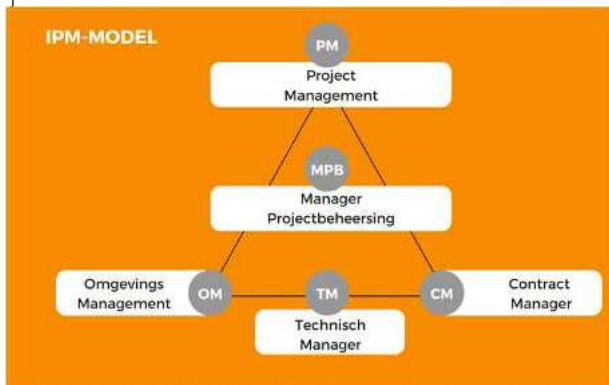
Factors	High-tech industry	Energy sector
Market pressure and drivers	<p>Driven by competitive differentiation, and rapid innovation cycles.</p> <p>Pressure to release frequent upgrades</p>	<p>Projects are capital-intensive, long-lived, subject to strict regulatory oversight.</p> <p>Rapid iterations are less feasible.</p>
Strategic alignment and governance	<p>PLE supports business agility and market responsiveness.</p> <p>Feature-based PLE requires cross-functional alignment and centralized governance.</p>	<p>Energy sector organizations are traditionally siloed.</p> <p>Modularization efforts emerge from engineering rather than enterprise-wide strategy.</p>
Reuse culture and maturity	<p>Decades of experience with platform strategies and software reuse.</p> <p>Institutionalized reuse through frameworks and standards.</p>	<p>Modular building is relatively new.</p> <p>Reuse is often constrained by site-specific requirements and legacy infrastructure.</p>
Variability management	<p>Feature-based PLE emphasizes consistent variation handling across domains.</p>	<p>Energy sector practices are still evolving toward this level of integration.</p>



Making it aesthetically pleasing

[Kunst op MS/LS-stations | Enexis Netbeheer](#)

› FROM ONE STATION AND PROJECT / YEAR TO MULTIPLE ONES

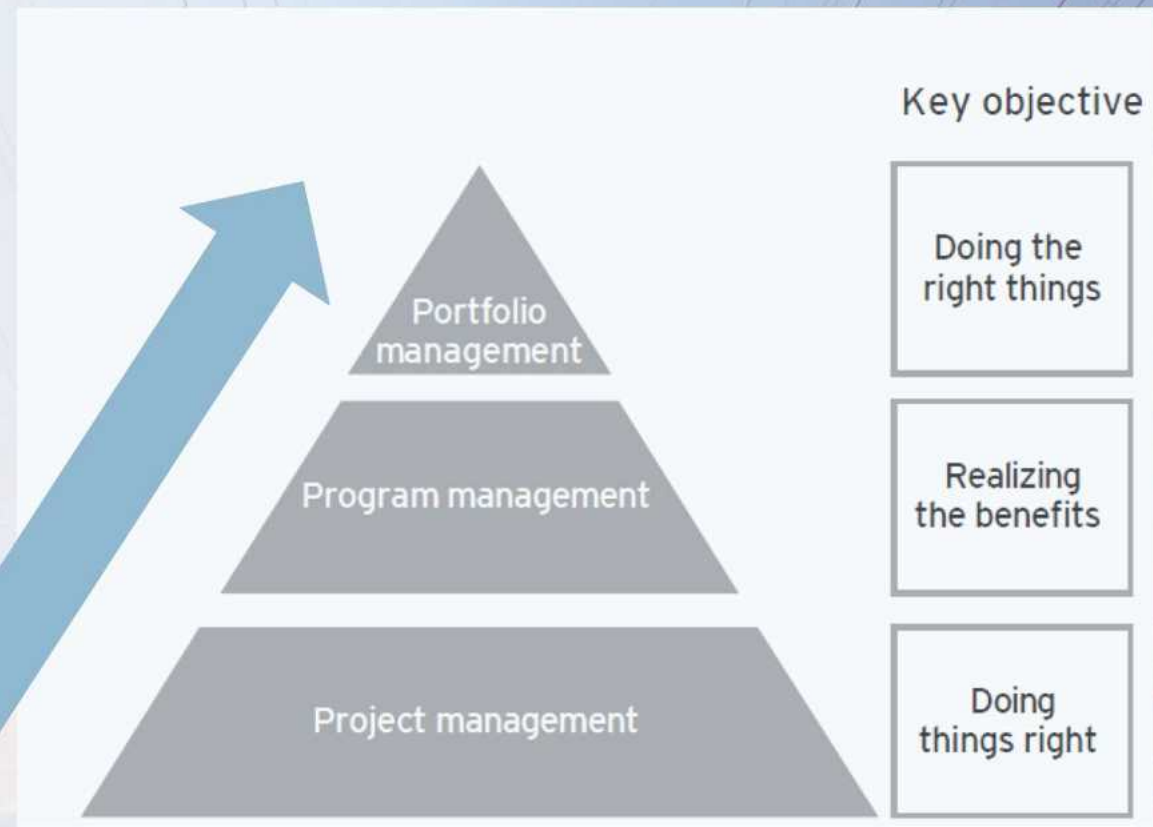
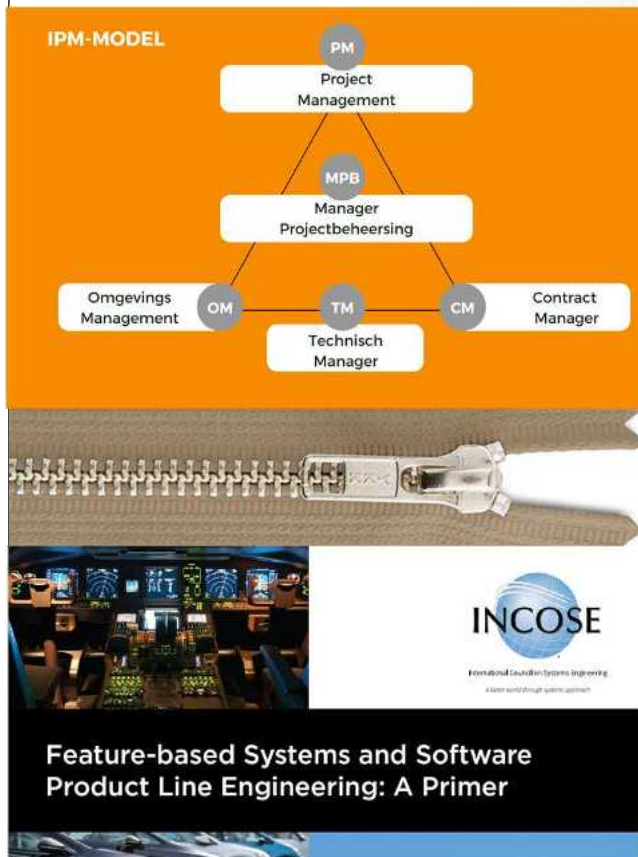


- › Project management is complex
 - › Regulatory constraints, permits
 - › Multi-stakeholder landscape: municipalities, regulators, contractors, communities
- › PLE introduction requires strategic shift from Engineer-to-Order to Configure-to-Order
 - › Less flexibility, more discipline
 - › Emphasis on standardization and reuse (aligned with SE)
 - › Supports scaling and repeatability
 - › Needs to be balanced with site-specific requirements



Feature-based Systems and Software Product Line Engineering: A Primer

.... AT PROGRAM AND PORTFOLIO LEVEL



BENEFITS OF MODULAR BUILDING ARE SIGNIFICANT

ENEXIS BENEFIT ESTIMATES: MORE THAN 4 TIMES FASTER. MORE THAN 10 TIMES THE VOLUME

Ontleed
Energiekwesties in beeld

Sneller via standaardisatie

De energietransitie dwingt de netbeheerders om het tempo van netverzwaring flink op te voeren. Soms in die mate dat er met 'gewoon' harder werken niet tegenop valt te boksen. Zo moet het oplevertempo van nieuwe transport-verdeelstations bij Enexis maar liefst vertien- tot -twaalfvoudigen: van zo'n 10 per jaar naar 100 à 120 per jaar. Een nieuwe, modulaire werkwijze moet uitkomst bieden.

TEKST Markieke Enters | INFOGRAPHIC Ymke Pas

Netsituatie

Tien spoorverdelstations bevinden zich op midderspanningsniveau. Ze zorgen ervoor dat elektriciteit (20 kV, 10 kV) over lange afstanden wordt vervoerd - vergelijkbaar met een stopperbaan waar andere elektriciteitsstations op worden aangesloten. Sommige stations bevatten ook regeltransformatoren, omdat ze niet alleen elektriciteit verdelen maar ook de spanning stabiel houden.

Oud versus nieuw

Oude werkwijze
Ontwerp op maat, tijdrovend

Elk transportverdeelstation werd individueel ontworpen en gebouwd. Alleen al het standaard ontwerpen (beveiliging e.d.) kostte zo'n 400 uur per station. Met de komende 8 jaar nog 20% 800 stations te bouwen is dat tijdrovende maatwerk niet houdbaar.

Relatief veel werk 'in eigen huis' (= beperkte mogelijkheid om op te schalen).

Grondaanloop en vergunningaanvragen: steeds weer op basis van andere specificaties. Dat maakt het proces tijdrovender en foutgevoeliger.

Nieuwe werkwijze
Standaardontwerp, opschaling mogelijk

Eén ontwerp, met standaard maatvoering en samengesteld uit dezelfde modulaire elementen, die zo veel mogelijk volgens dezelfde standaardprocedures in elkaar wordt gezet.

Het ontwerp is toepasbaar voor drie varianten:
- een stroomverdeelstation (TVS)
- een verdeelstation met twee regeltrafo's (TVS-zRT)
- een verdeelstation met drie regeltrafo's (TVS-gRT)

Enexis kan een groter deel van het werk uitbesteden. En daarmee ontstaan meer mogelijkheden tot opschaling. Aannemers nemen Enexis werk uit handen en er kan makkelijker worden geschoven 'in de keten'.

Grondaanloop en vergunningaanvragen: op basis van standaardspecificaties. Dat helpt de afdeling Ruimte & Recht van Enexis om de grondaanloop tijdig in gang te zetten.

Vastomlijnd benodigde oppervlakte voor de 3 varianten:
- TVS: 360 m²
- TVS-zRT: 1320 m²
- TVS-gRT: 1660 m²

De uitvoering en het uiterlijk van het gebouw staat grotendeels vast. Af fabriek zijn de schakelgebouwen grijs, soms kunnen ze later (oegewenst) makkelijk worden ingepast. Maatwerk is alleen in zeer uitzonderlijke situaties mogelijk. Gemeenten die dat toch willen, moeten zich realiseren dat Enexis voorrang geeft aan stations die het snelst te bouwen zijn: de standaardstations.

Werkgebied

De komende 8 jaar moet Enexis in totaal 800 van dit soort nieuwe verdeelstations bouwen in zijn werkgebied.

- Elektriciteit
- Elektriciteit en gas

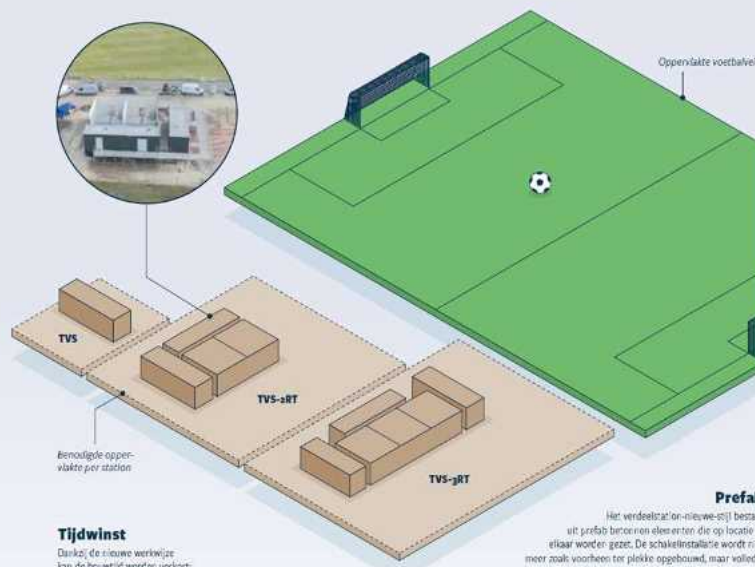
Primeur voor TVS in Roermond

In Roermond plaatste Enexis het allereerste modulairement gebouwd transportverdeelstation (TVS).

Primeur voor TVX-zRT in Nieuwe Pekela

De eerste keer dat Enexis deze vernieuwde, versneld bouwbaar type, is in Nieuwe Pekela. Daar kon een nieuw transportverdeelstation met twee regeltransformatoren (TVS-zRT), waarmee netcapaciteit beschikbaar komt om klanten aan te sluiten die nu op de wachtlijst staan. Daarnaast vergroot het nieuwe station de stabiliteit en toekomstbestendigheid van het stroomnet in de regio.

NetNL nummer 45 | Netbeheer Nederland



Tijdwinst

Door de nieuwe werkwijze kan de bouw tijd worden verkort:
12-18 maanden → 4 maanden

Die tijdswinst stelt Enexis in staat het jaarlijkse oplevertempo te verhogen:

10 verdeelstations → 100-120 verdeelstations

Prefab

Het verdeelstation-nieuwe-stijl bestaat uit prefab bereide elementen die op locatie in elkaar worden gezet. De schakelinstallatie wordt niet meer zoals voorheen ter plekke opgebouwd, maar volledig voorgeïntendeerd bij de leverancier. Ook de regeltrafo's worden elders al hetmaal gepreïntendeerd en voorbereid. Een kraan hijs de volledige schakelinstallatie het gebouw in. Daarna kan het dak op het gebouw geplaatst worden.



Ook modulaire bouw

Eveneens in Groningen werkt Enexis samen met TenneT sinds april 2024, ook via een nieuw, modulairement standaardconcept, aan de bouw van een nieuw hoog- en middenspanningsstation. Daarmee komt 360 MW extra capaciteit beschikbaar, met name bedoeld voor grote opwekkers in de regio, zoals zonneparken. Tot zogo komen er nog vijf plekken in Noord-Nederland soortgelijke stations.
*Om precies te zijn op Bedrijventerrein Zuid-Groeninge bij Ter Aijelkanaal, in de gemeente Westerveld.



THANK YOU!