



Manual Green Construction Site

Axel Nordin Fördös

Manual Green Construction Site

Axel Nordin Fördös

Innehåll

Innehåll.....	1
1 Introduktion	2
2 Användning.....	2
2.1 Fordonsflotta	2
2.1.1 Användarvärden.....	2
2.1.2 Statistik per fordon.....	6
2.1.3 Ersättning av diesel	6
2.1.4 Byggarbetsplats Totalt.....	7
2.2 Tankning & Laddning	7
2.2.1 Fordonsflotta	7
2.2.2 Vätgas - Påfyllningsschema	8
2.2.3 Batteri – Laddningsschema.....	10
3 Parametrar	11
3.1 Tank-to-Wheel Effektiviteter.....	11
3.2 Hydrogen Refueling Station	11
3.3 Laddare	12
4 Två exempel på användning	13
4.1 Byggarbetsplats med en vätgaselektrisk grävmaskin och två vätgaselektriska dumprar	13
4.1.1 Fordonsflotta.....	13
4.1.2 Påfyllningsschema.....	14
4.2 Byggarbetsplats med en vätgaselektrisk grävmaskin och två batterielektriska dumprar	15
4.2.1 Fordonsflotta	15
4.2.2 Påfyllning och laddning.....	16
4.3 Jämförelse mellan de två exemplen	17
5 Källor.....	18

1 Introduktion

”Green Construction Site” är ett enkelt Excelbaserat kalkylbladsverktyg som låter användaren göra en grov uppskattning av energibehovet i termer av el och vätgas för en elektrifierad byggarbetsplats. Det låter också användaren skapa ett enkelt schema för tankning och laddning av arbetsmaskinerna. Användaren kan också experimentera med olika konfigurationer av vätgastankstationer.

Verktyget använder den tidigare uppmätta dieselförbrukningen för Volvo CE's anläggningsmaskiner för att uppskatta behovet av vätgas eller el för de elektrifierade arbetsmaskinerna.

2 Användning

2.1 Fordonsflotta

Användningen börjar med bladet "Fordonsflotta". Detta är sidan där användaren bestämmer vilken typ av fordon och hur många som ska användas på platsen. Från denna sida kan resulterande energianvändning och fyllnings-/laddningskrav för varje typ av fordon avläsas.

Byggarbetsplats Totalt				Guide för användningsintensitet			
Väpstenhöj (kg/h)	Min	Max		Låg	Dumper	Grävmaskin	Hjullastare
Påfyllningsstid (h/dag)	0,00	0,00		Medel	Stor mängd romgång. Korta till medel-längd körningar på väl underhållna, jämna, dragvägar. Mindre totala milförtäring. Den vanligaste typen av drift bland Volvo CE maskiner.	Enkelt grävmaskin med 40 - 50 % grävning av den dagliga arbetsytan.	Gäller lätt materialhantering, t.ex. material och väterhantering.
Laddningsstid (h/dag)	0,00	0,00		Hög	Genomsnittliga lastorfordon och för regelbundet underhållna transportvägar. Normala dragtider och flera oregelbundna grävmaskiner. Vissa maskiner laddas väter eller med rekovera, oregelbundna lastor. Lågt underhållna dragvägar med högt rullmotstånd. Mycket lite romgång.	Medelstora grävmaskiner med 50 - 70 % grävning av den dagliga arbetsytan.	Gäller lastning av fordon med material i grävklass 1 och 2.
Laddningsstid (h/dag)	0,00	0,00				Höga grävmaskiner med 70 - 80 % grävning av den dagliga arbetsytan.	Gäller produktionsställning av material i schaktklass 2, 3 och 4 eller i last- och

Figur 1: Översikt av fordonsskottan

2.1.1 Användarvärden

Alla användarvärden skrivs in under den gröna tabellen "Användarvärden". Detta är det enda fältet på arkets där användaren kan göra poster, alla andra fält är låsta.¹

Användarvärden							
No	Fordonstyp	Motoreffekt [kW]	Användningsintensitet	Antal fordon [-]	Arbetstimmar [h/dag]	Drivlina [Batteri/Välgas]	Energilager [kWh eller kg H ₂]
#1	Dumper	265	Låg	1	8	Batteri	200
#2	Dumper	265	Låg	1	8	Batteri	200
#3	Grävmaskin	278	Låg	1	8	Välgas	23
#4	Ingen	250	Låg	1	8	FCEV	
#5	Ingen	250	Medel	1	8	FCEV	
#6	Ingen	250	Medel	1	8	BEV	

Figur 2: Exempel på användarvärden

Varje rad i tabellen Användarvärden motsvarar en typ av fordon. Det finns totalt 20 rader vilket innebär att upp till 20 olika typer av fordon kan finnas på en gång. För

¹ För att redigera excel-arket i övrigt använd lösenordet "cleancon"

varje rad finns det sju poster som användaren måste göra, dessa är: Fordonstyp, Motoreffekt, Användningsintensitet, Antal fordon, Arbetstimmar, Drivlina och Energilager.

2.1.1.1 Fordonstyp

Det finns tre typer av fordon som kan väljas mellan, dessa är: dumper, grävmaskin och hjullastare. Användaren kan också välja "Ingen" som är standardalternativet och lämnar raden oanvänd.

2.1.1.2 Motoreffekt

Efter att ha valt fordonstyp måste användaren välja fordonets Motoreffekt. Detta avgör fordonets storlek. Motoreffekt är lika med fordonets max- eller bruttomotoreffekt. Som referens presenteras bruttomotoreffekten för vissa vanliga Volvo anläggningsmaskiner i Tabell 1. Motoreffekten och fordonstypen är avgörande faktorer för beräkningen av energiförbrukningen. För de mest exakta resultaten bör användaren avstå från att använda kombinationer av fordonstyp-motoreffekt som inte finns inom intervallen i Tabell 1. (Till exempel ger en dumper med en motoreffekt mycket mindre än 235 kW eller mycket större än 350 kW sannolikt felaktiga resultat).

Tabell 1: Net Power for some common Volvo CE vehicles

Fordonstyp	Modell	Motoreffekt [kW]
Dumper	A25G	235
	A30G	265
	A35G	329
	A40G	350
Grävmaskin	EC250E	168
	EC300E	189
	EC380E	226
	EC480E	278
	EC750E	385
Hjullastare	L60H	123
	L70H	127
	L90H	137
	L110H	191
	L120H	203
	L150H	220
	L180H	246
	L220H	274
	L250H	291
	L350F	397

2.1.1.3 Användarintensitet

Användningsintensiteten avgör om fordonet utför arbete med antingen låg, medel eller hög intensitet. Högre intensitet ger högre energiförbrukning. Beskrivningar av användningsintensiteten för de olika fordonstyperna presenteras i tabellerna 2 - 4 (Volvo CE, 2016):

Tabell 2: Dumper - guide för användarintensitet

Användarintensitet	Beskrivning
Låg	Stor mängd tomgång. Korta till medellång körningar på väl underhållna, jämna, dragvägar. Minsta totala rullmotstånd. Den vanligaste typen av drift bland Volvos ramstyrda dumprar.
Medel	Genomsnittliga lastzonsförhållanden och för regelbundet underhållna transportvägar. Normala dragtider och flera ogynnsamma graderingar. Vissa områden med högt rullmotstånd.
Hög	Mycket långa cykeltider med frekventa, ogynnsamma lutningar. Dåligt underhållna dragvägar med högt rullmotstånd. Mycket lite tomgång.

Tabell 3: Grävmaskin - guide för användarintensitet

Användarintensitet	Beskrivning
Låg	Enkla grävförhållanden med 40 - 50 % grävning av den dagliga arbetstiden
Medel	Medelstora grävförhållanden med 50 - 70 % grävning av den dagliga arbetstiden
Hög	Hårda grävförhållanden med 70 - 90% grävning av den dagliga arbetstiden.

Tabell 4: Hjullastare - guide för användarintensitet

Användarintensitet	Beskrivning
Låg	Gäller lätt materialhantering, t.ex. material- och virkeshantering.
Medel	Gäller lastning av fordon med material i grävklass 1 och 2.
Hög	Gäller produktionslastning av material i schaktklass 2, 3 och 4 eller i last- och bärtyckler.

2.1.1.4 Antal Fordon

I detta steg bestämmer användaren antalet fordon. För att fyllnings- och laddningsplaneraren ska fungera korrekt måste posten vara 1. Men om användaren inte vill använda fyllnings- och laddningsplaneraren kan något positivt heltal anges.

2.1.1.5 Arbetstimmar

Denna post är för hur många timmar per dag fordonen används. Detta inkluderar tomgångstid etc.

2.1.1.6 Drivlina

Den här posten gäller fordonets drivlina, det vill säga väteelektriskt med bränslecell eller batterielektrisk. Detta avgör vilken typ av bränsle fordonen använder (väte eller el).

Tabell 5: Drivlinor och bränslen

Drivlina	Bränsle
Vätgaselektrisk	Vätgas
Batterielektrisk	Elektricitet

2.1.1.7 Energilager

Denna post avser storleken på energilagringen som används i fordonet. För vätgaselektriska fordon är detta lika med vätgastanken mätt i kg H₂ och för batterielektriska är detta lika med batterikapaciteten mätt i kWh.

2.1.2 Statistik per fordon

Från denna tabell kan användaren läsa information om energianvändning och krav på fyllning/laddning för varje fordon.

Tabell 6: Beskrivning av kolumner

Column	Description
Vikt Energilager [kg]	Energilagringsvikt [kg] Hur mycket energilagringen (d.v.s. vätgastanken eller batteriet) väger.
Påfyllningstid/laddningstid [h]	Hur lång tid det tar att fullt ladda eller tanka fordonet.
Energibehov [kWh/h eller kg H ₂ /h]	Hur mycket energi i väte eller el fordonet använder. Inkluderar en lägre gräns (Min) och en högre gräns (Max).
Räckvidd [h]	Hur länge fordonet kan användas på en fyllning/laddning. Inkluderar en lägre gräns (Min) och en högre gräns (Max).
Påfyllningar per timme [-]	Hur många gånger per timme fyllning/laddning av fordonet krävs. Inkluderar en lägre gräns (Min) och en högre gräns (Max).

Statistik per fordon							
Vikt energilager [kg]	Påfyllnings/laddningstid [h]	Energibehov [kWh/h eller kg H ₂ /h]		Räckvidd [h]		Påfyllningar per timme [-]	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
1420	0.64	65.72	65.72	2.43	2.43	0.41	0.41
1420	0.64	65.72	65.72	2.43	2.43	0.41	0.41
499.1	0.23	3.87	7.39	2.80	5.34	0.19	0.36
#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A

Figur 3: Exempel på Statistik per fordon

2.1.3 Ersättning av diesel

Denna tabell låter användaren veta hur mycket diesel ett motsvarande dieselfordon skulle ha använt för samma arbete/uppgift.

Ersättning av diesel			
Per fordon [L/h]		Total [L/dag]	
Min	Max	Min	Max
17.0	17.0	136.16	136.16
17.0	17.0	136.16	136.16
16.7	31.9	133.78	255.30
0.0	0.0	0.00	0.00

Figur 4: Exempel på Ersättning av diesel

2.1.4 Byggarbetsplats Totalt

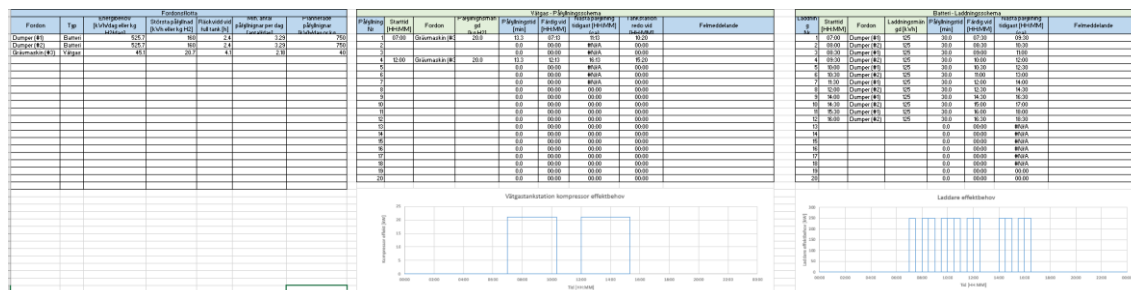
Under "Byggarbetsplats Totalt" kan användaren se den totala statistiken för byggarbetsplatsen. Här återfinns det totala energibehovet mätt i vätgas och el. Information om det totala antalet påfyllnings-/laddningstillfällen och hur många timmar per dag tankstationen/laddaren är upptagen.

	Byggarbetsplats Totalt	Min	Max
Vätgas	Vätgasbehov [kg H ₂ /dag]	30.99	59.14
	Påfyllningstid [h/dag]	0.96	0.00
	Påfyllningar per dag [antal/dag]	1.50	2.86
Batteri	Elbehov [kWh/dag]	1051.48	1051.48
	Laddningstid [h/dag]	4.21	4.21
	Laddningstillfällen [antal/dag]	6.57	6.57

Figur 5: Example of Site Totals

2.2 Tankning & Laddning

Detta blad låter användaren skapa ett fyllnings- och laddningsschema för fordonsflottan. Bland de användbara resultaten från detta blad är effektbehovet för tankstationen och/eller laddaren. För planering av påfyllning och laddning används medelenergianvändningen av minsta och maximala energianvändning som energianvändning för fordonet.



Figur 6: Översikt av bladet "Tankning och Laddning"

2.2.1 Fordonsflotta

Resultaten från bladet "Fordonsflotta" finns här för att hjälpa användaren med planering. I denna tabell är alla fordon från föregående blad listade som fordonstyp och inmatningsrad. Dessa används senare i kommande tabeller för planering av fyllning och laddning. Tre kolumner i denna tabell är av särskild betydelse: "Energibehov" är hur mycket energi varje fordon använder per dag. Detta dikterar också hur mycket energi fordonet måste fyllas/laddas med per dag. Kolumnen "Planerade påfyllningar" är hur mycket fyllning/laddning som har planerats i Påfyllningsscheman för vätgas och batteri. När ett påfyllningsschema är klart bör den planerade fyllningen vara nära lika

med fordonets energibehov. Kolumnen "Största påfyllnad" anger den maximala mängd energi som fordonet kan fyllas med per påfyllnings-/laddningshändelse.

Fordonsslotta						
Fordon	Typ	Energibehov [kWh/dag eller kg H ₂ /dag]	Största påfyllnad [kWh eller kg H ₂]	Räckvidd vid full tank [h]	Min. antal påfyllningar per dag [antal/day]	Planerade påfyllningar [kWh/day or kg H ₂ /day]
Dumper (#1)	Batteri	525.7	160	2.4	3.29	750
Dumper (#2)	Batteri	525.7	160	2.4	3.29	750
Grävmaskin (#3)	Vätgas	45.1	20.7	4.1	2.18	40

Figur 7: Exempel på Fordonsflotta

2.2.2 Vätgas - Påfyllningsschema

I denna tabell kan användaren planera påfyllningen av vätgasfordon. Målet för användaren bör vara att planera fyllningen så att energibehovet för varje fordon tillgodoses (Planerad fyllning bör vara nästan lika med energibehovet i tabellen för fordonsslotta).

Planeringen av påfyllningen är mestadels begränsad av tid. Tankstationen kan endast fylla ett fordon åt gången och det finns även en vilotid för tankstationen till följd av att kompressorerna behöver fylla på kaskadlagret innan nästa påfyllning är möjlig. (Med andra ord, efter en påfyllning kommer det att ta lite tid innan stationen är redo att användas igen.) Användaren måste planera påfyllningen kring dessa begränsningar. Om det inte är möjligt att skapa ett fungerande påfyllningsschema kan användaren justera antingen fordonsslottan eller parametrarna för tankstationen som finns under bladet "Parametrar".

2.2.2.1 Påfyllning Nr

Den här kolumnen är inte en användarpost. Upp till 20 fyllningsevenemang kan schemaläggas per dag

2.2.2.2 Starttid

Denna kolumn är till för när fyllningen börjar. En påfyllning får inte starta innan stationen är klar efter föregående påfyllning. Detta kan läsas i spalten "Tankstation redo vid".

Vätgas - Påfyllningsschema							
Påfyllning Nr	Starttid [HH:MM]	Fordon	Påfyllningsmängd [kg H ₂]	Påfyllningstid [min]	Färdig vid [HH:MM]	Nästa påfyllning senast [HH:MM] (ca)	Tankstation redo vid [HH:MM]
1	07:00	Grävmaskin (#3)	20.0	13.3	07:13	11:13	10:20
2				0.0	00:00	00:00	00:00
3				0.0	00:00	00:00	00:00
4	12:00	Grävmaskin (#3)	20.0	13.3	12:13	16:13	15:20
5				0.0	00:00	00:00	00:00
6				0.0	00:00	00:00	00:00
7				0.0	00:00	00:00	00:00

Figur 8: Exempel för Vätgas - Påfyllningsschema

2.2.2.3 Fordon

Här kan användaren välja vilket fordon som ska fyllas. Användarna kan välja bland fordon som finns i kolumnen "Fordon" i tabellen "Fordonsflotta" som finns på samma blad.

2.2.2.4 Påfyllningsmängd

Här väljer användaren hur mycket fordonet fylls med under påfyllningstillfället. Användaren måste välja en mängd som är mindre än den maximala påfyllningsmängden som anges för fordonet i tabellen "Fordonsflotta".

2.2.2.5 Påfyllningstid

Här kan användaren läsa hur lång tid påfyllningen förväntas ta. Fyllningshastigheten kan ökas som ett alternativ som finns i bladet "Parametrar".

2.2.2.6 Färdig vid

Detta är den tidpunkt då påfyllningen kommer att vara klar och fordonet är redo för användning igen.

2.2.2.7 Nästa påfyllning senast

Detta är hur länge energin i fordonet förväntas räcka tills nästa påfyllning krävs. Detta är endast en uppskattning och tar inte hänsyn till om några längre pauser görs etc.

2.2.2.8 Tankstation redo vid

Detta är den tidpunkt då stationen är redo att användas igen. Nästa påfyllning kanske inte inträffar före denna tidpunkt. Stationens vilotid dikteras av kapaciteten hos kompressorn vid stationen. Större och kraftfullare kompressor kommer att kunna fylla på kaskadförrådet snabbare och förkorta vilotiden. Men stora kompressorer är också dyrare och har högre effektbehov, vilket resulterar i mycket högre toppar i effektbehovsprofilen för tankstationen.

2.2.2.9 Felmeddelande

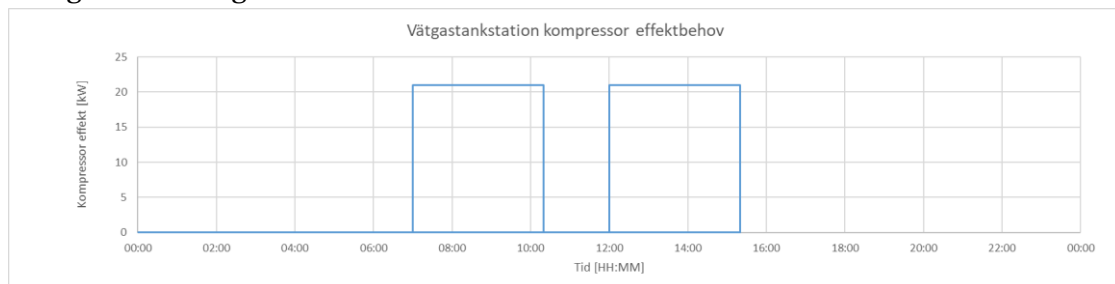
Den här kolumnen låter användarna veta om några fel finns på raden. Om inga fel förekommer lämnas fältet tomt. Det finns tre felmeddelanden som kan visas:

Tabell 7: Lista på felmeddelanden

Felmeddelande	Betydelse
Tankstation ej redo!	Stationen är inte redo att användas ännu. Antingen schemalägg fyllningen senare eller använd en större kompressor på stationen!
Påfyllning för stor!	Fyllningen är större än tankens kapacitet. Prova en mindre fyllning eller öka tankens kapacitet!
Felbränsle!	Fel bränsle! Fordonet som körs in är inte en FCEV. Ta bort fordonet eller byt bränsle i fliken "Fordonsflotta"!

2.2.2.10 Vätgastankstation kompressor effektbehov

I diagrammet "Vätgastankstation kompressor effektbehov" kan den resulterande effektbehovsprofilen för bensinstationskompressorn ses. För en vätgastankstation utan egen vätgasproduktion på plats från elektrolys är kompressorn huvudkällan till energiförbrukning.



Figur 9: Exempel på Vätgastankstation kompressor effektbehov

2.2.3 Batteri – Laddningsschema

I denna tabell kan laddningen av batterifordenen schemaläggas av användaren. Jämfört med vätgastankning tar batteriladdning vanligtvis längre tid och har mycket högre effektbehov men har istället inget krav på vilotid mellan laddningar.

Användningen av Batteri - Laddningsschema är exakt densamma som för vätgas med undantag av att laddaren redan ska användas så snart det föregående fordonet är färdigt. Av denna anledning, för all information om användningen av Tabellen, hänvisas användaren till tidigare avsnitt.

Batteri - Laddningsschema							
Laddning Nr	Starttid [HH:MM]	Fordon	Laddningsmängd [kWh]	Påfyllningstid [min]	Färdig vid [HH:MM]	Nästa påfyllning tidigast [HH:MM] (ca)	Felmeddelande
1	07:00	Dumper (#1)	125	30.0	07:30	09:30	
2	08:00	Dumper (#2)	125	30.0	08:30	10:30	
3	08:30	Dumper (#1)	125	30.0	09:00	11:00	
4	09:30	Dumper (#2)	125	30.0	10:00	12:00	
5	10:00	Dumper (#1)	125	30.0	10:30	12:30	
6	10:30	Dumper (#2)	125	30.0	11:00	13:00	
7	11:30	Dumper (#1)	125	30.0	12:00	14:00	

Figur 10: Exempel på Batteri - Laddningsschema

3 Parametrar

I detta blad kan användaren ändra några av de kärnantaganden som används för beräkningarna i excel-kalkylbladet. Detta är helt valfritt att ändra och är inte nödvändigt för att använda kalkylarket.

3.1 Tank-to-Wheel Effektiviteter

Värdena i denna tabell används för beräkning av energianvändning för fordonen. Tank-to-Wheel-effektiviteten hos ett fordon är hur mycket av den lagrade energin inuti fordonet blir användbart arbete. Detta är ett svårt mått att mäta exakt men är känt för att generellt ligga runt 25 – 40 % för dieselanläggningsmaskiner. Ett sätt att uppnå denna typ av mått (utan att behöva bygga och faktiskt testa fordonet) är genom simulering. Tank-to-Wheel-effektiviteten för en FCEV-dumper uppskattas till cirka 45 %, vilket har validerats genom simulering. Alla andra standardvärden är grova uppskattningar baserat på tidigare erfarenheter.

Tank-to-Wheel Effektiviteter			
	Hjullastare	Grävmaskin	Dumper
Diesel	35%	35%	35%
BEV	90%	90%	90%
FCEV	45%	45%	45%

Figur 11: Standardvärden för Tank-to-Wheel Effektiviteter

3.2 Hydrogen Refueling Station

Här anges parametrarna för vätgastankstationen.

Standardvärdet för påfyllningshastighet är 1,5 kg H₂/min. Fyllningshastigheten för faktiska vätgastankstationer är för närvarande runt 1 kg H₂/min men ibland så hög som 2 kg H₂/min. För större fordon (så som arbetsmaskiner & lastbilar) är målet att uppnå högre fyllningshastigheter, så högt som 8 kg H₂/min har föreslagits.

Kompressorn lämnas på 0,25 kg H₂/min som standard, men det uppmuntras att användaren försöker experimentera med denna parameter. En större kompressor ger kortare vilotid men högre kostnader och intermittenta effekttoppar. Det föreslås därför att användaren försöker hitta den minsta möjliga kompressorstorleken som ändå möjliggör ett rimligt fyllningsschema för fordonsflottan.

Kompressorns effektivitet avgör hur mycket el kompressorn använder för att komprimera ett kilo väte. Av erfarenhet och datainsamling är detta känt för att vara runt 3,5 kWh/kg H₂ (NREL, 2018).

Vätgastankstation	
Påfyllningshastighet [kg H ₂ /min]	1.5
Kompressorkapacitet [kg H ₂ /min]	0.25
Kompressoreffektivitet [kWh/kg H ₂]	3.5

Figur 12: Standardvärden för vätgastankstation

3.3 Laddare

Här anges parametrarna för laddern för batterifordon. Det finns bara en parameter här vilket är effekten. Som standard lämnas detta till 250 kW vilket är ganska högt för en laddare men inte ovanligt, mer kraftfulla laddare finns. En laddare med högre effekt kommer att ladda fordonen snabbare men kommer också att kräva mer ström från platsen och ge högre effekttoppar

Laddare	
Power [kWh/h]	250

Figur 13: Standardvärde för Laddare

4 Två exempel på användning

I följande avsnitt visas två exempel på hur excel-verktyget kan användas.

4.1 Byggarbetsplats med en vätgaselektrisk grävmaskin och två vätgaselektriska dumprar

I detta exempel visas en byggarbetsplats för en vätgaselektrisk grävmaskin och två vätgaselektriska dumprar. Grävmaskinen har en nettoeffekt på 278 kW vilket gör den ungefär lika med en 50-tons EC 480E Volvo grävmaskin. De två dumprarna har vardera en nettoeffekt på 265 kW, vilket gör dem ungefär lika med två A30G Volvo dumprar

4.1.1 Fordonsflotta

Arbetet på platsen är av låg användningsintensitet, det innebär mestadels välskötta och jämna körytor för dumprarna och mycket tomgång för båda typerna av fordon. Alla fordon är planerade att arbeta i 8 timmar per dag. De två dumprarna har en tank på 20 kg H₂ och grävmaskinen har en tank på 25 kg H₂.

Användarvärden							
No	Fordonstyp	Motoreffekt [kW]	Användningsintensitet	Antal fordon [-]	Arbetstimmar [h/dag]	Drivlina [Batteri/Vätgas]	Energilager [kWh eller kg H ₂]
#1	Dumper	265	Låg	1	8	Vätgas	20
#2	Dumper	265	Låg	1	8	Vätgas	20
#3	Grävmaskin	278	Låg	1	8	Vätgas	28

Figur 14: Användarvärden i detta exempel

Resultaten från fordonsparken presenteras i tabellerna nedan. Det totala vätgasbehovet för anläggningen är 79,18 – 144,15 kg H₂/dag.

Tabell 8: Dumper resultat

Parameter	Värde
Tank vikt	390.6 kg
Energianvändning	3.01 – 5.31 kg H ₂ /h
Räckvidd	3.39 – 5.98 h
Påfyllningar per timme	0.17 – 0.3 påfyllningar/h
Ersatt diesel	104.01 – 183.45 l Diesel/dag

Tabell 9: Grävmaskin resultat

Parameter	Värde
Tank vikt	607.6 kg
Energianvändning	3.87 – 7.39 kg H ₂ /h
Räckvidd	3.41 – 6.50 h

Parameter	Värde
Påfyllningar per timme	0.15 – 0.39 påfyllningar /h
Ersatt diesel	133.78 – 255.30 l Diesel/dag

4.1.2 Påfyllningsschema

Vätgastankstationen i detta exempel lämnas i standardinställningarna. Schemat är som följer:

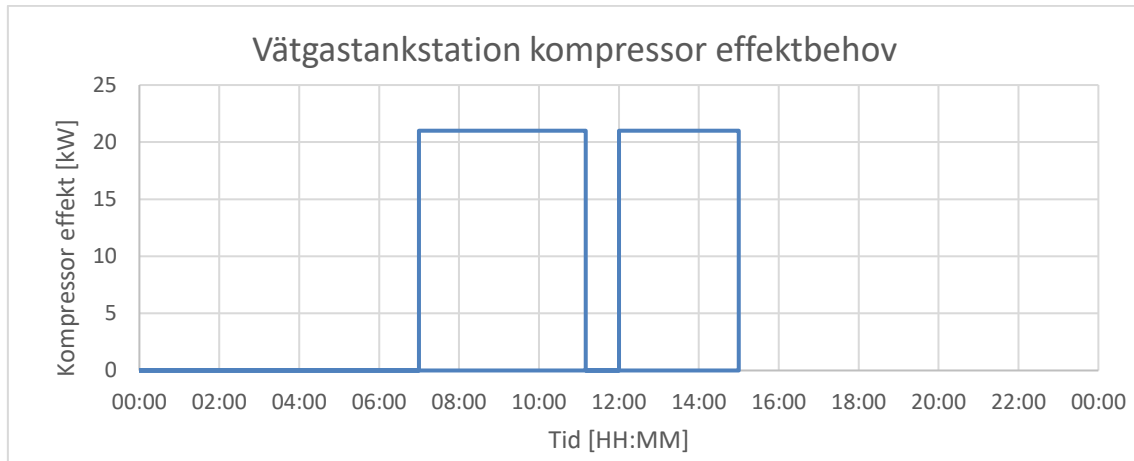
- Grävmaskinen fylls på först på morgonen kl. 07:00
- Så snart stationen är klar efter den första påfyllningen fylls dumpern (#2) på kl. 08:40
- När stationen är klar igen fylls nästa dumper (#1) på kl. 09:53
- Vid lunch kl. 12:00 upprepas cykeln igen
- Klockan 16:04 fylls dumpern (#2) på igen så att den är redo att användas nästa dag

Vätgas - Påfyllningsschema								
Påfyllning Nr	Starttid [HH:MM]	Fordon	Påfyllningsmängd [kg H ₂]	Påfyllningstid [min]	Färdig vid [HH:MM]	Nästa påfyllning senast [HH:MM] (ca)	Tankstation redo vid [HH:MM]	Felmeddelande
1	07:00	Grävmaskin (#3)	25.0	16.7	07:16	11:16	08:40	
2	08:40	Dumper (#1)	18.0	12.0	08:52	12:52	09:52	
3	09:52	Dumper (#2)	18.0	12.0	10:04	14:04	11:04	
4	12:00	Grävmaskin (#3)	25.0	16.7	12:16	16:16	13:40	
5	13:40	Dumper (#2)	18.0	12.0	13:52	17:52	14:52	
6	14:52	Dumper (#1)	18.0	12.0	15:04	19:04	16:04	
7	16:04	Dumper (#2)		0.0	16:04	20:04	16:04	

Figur 15: Vätgas - Påfyllningsschema

I detta schema är användningen av vätgastankstationen effektivt. Den är antingen i bruk eller återvinning under hela arbetsdagen. För fordonens drifttid kanske detta dock inte är optimalt. Till exempel, mellan 07:16 och 08:40 är grävmaskinen fylld och redo att användas, men om inte minst en dumper är fylld sedan dagen innan kan materialet den gräver inte kan flyttas. Detta är varför är dumper (#2) fyller på en extra tid på eftermiddagen så att det är klart för nästa morgon.

Kompressoreffektbehovet för stationen är konstant 52,5 kW från 07:00 – 11:05 och 12:00 – 17:16. Kompressorns elbehov är därför 302 kWh/dag.



Figur 16: Vätgastankstation kompressor effektbehov

4.2 Byggarbetsplats med en vätgaselektrisk grävmaskin och två batterielektriska dumprar

I det här exemplet ändras de två dumprarna så att de är batterielektriska istället för vätgaselektriska (de ligger kvar på 265 kW). Grävmaskinen förblir oförändrad.

4.2.1 Fordonsflotta

Dumprarna har vardera ett batteri på 160 kWh. Alla andra användarinmatningar lämnas oförändrade från föregående exempel.

Användarvärden							
No	Fordonstyp	Motoreffekt [kW]	Användningsintensitet	Antal fordon [-]	Arbetstimmar [h/dag]	Drivlina [Batteri/Vätgas]	Energilager [kWh eller kg H ₂]
#1	Dumper	265	Låg	1	8	Batteri	160
#2	Dumper	265	Låg	1	8	Batteri	160
#3	Grävmaskin	278	Låg	1	8	Vätgas	28
#4	Ingen	250	Låg	1	8	Vätgas	

Figur 17: Användarvärden

Byggarbetsplatsen använder totalt 30,99 – 59,14 kg H₂/dag och 803,18 – 1416,70 kWh/dag för laddning. Resultatet för dumprarna är nu:

Tabell 10: Dumper resultat

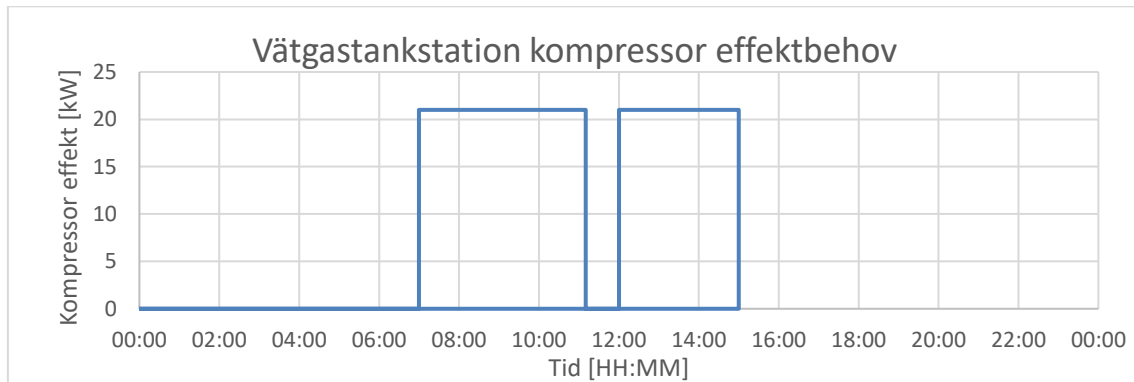
Parameter	Värde
Batteri vikt	1136 kg
Energibehov	50.20 – 88.54 kWh/h
Räckvidd	1.45 – 2.55 h
Laddningar per timme	0.39 – 0.69 charges/h
Ersatt diesel	104.01 – 183.45 l Diesel/dag

4.2.2 Påfyllning och laddning

Påfyllningsschemat för grävmaskinen förblir oförändrat eftersom den fortfarande fyller på kl. 07.00 och 12.00. Vätgastankstationen har dock nu en mycket mindre kompressor jämfört med förra (nu endast 0,10 kg H₂/min), vilket ger stationen en mycket längre vilotid men lägre effektbehov. Kompressorn används i 8 timmar och 20 minuter per dag där den arbetar med en effekt på 21 kW vilket gör den totala energianvändningen 175 kWh/dag för kompressorn.

Vätgas - Påfyllningsschema							
Påfyllning Nr	Starttid [HH:MM]	Fordon	Påfyllningsmängd [kg H ₂]	Påfyllningstid [min]	Färdig vid [HH:MM]	Nästa påfyllning senast [HH:MM] (ca)	Tankstation redo vid [HH:MM]
1	07:00	Grävmaskin (#3)	25.0	16.7	07:16	11:16	11:10
2	12:00	Grävmaskin (#3)	18.0	12.0	12:12	16:12	15:00

Figur 18: Vätgas - Påfyllningsschema

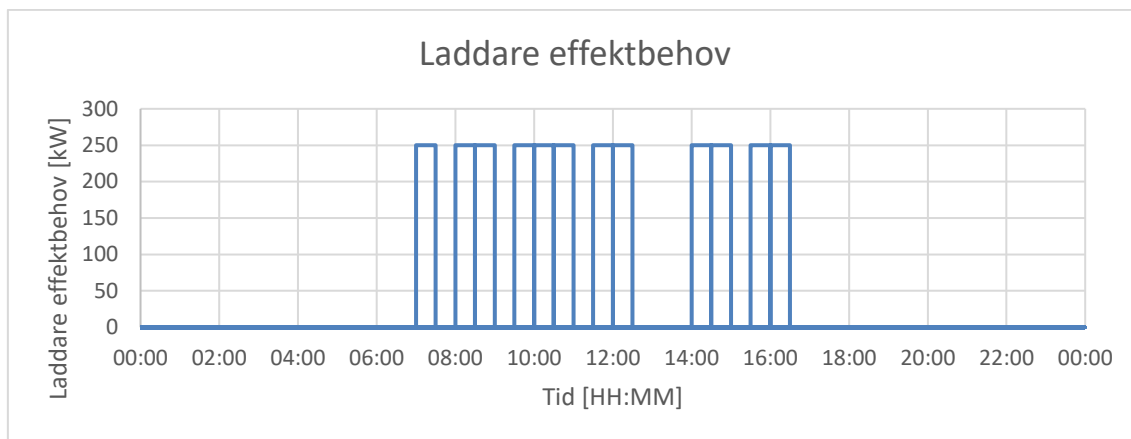


Figur 19: Vätgastankstation kompressor effektbehov

Laddning av dumperna sker flera gånger per dag. Laddningseffekten är 250 kW. En laddning tar cirka 30 minuter och räcker för cirka en timmes användning av dumpern. Laddaren är totalt upptagen i 6 timmar per arbetsdag.

Batteri - Laddningsschema							
Laddning Nr	Starttid [HH:MM]	Fordon	Laddningsmängd [kWh]	Påfyllningstid [min]	Färdig vid [HH:MM]	Nästa påfyllning tidigast [HH:MM] (ca)	Felmeddelande
1	07:00	Dumper (#1)	125	30.0	07:30	08:30	
2	08:00	Dumper (#2)	125	30.0	08:30	09:30	
3	08:30	Dumper (#1)	125	30.0	09:00	10:00	
4	09:30	Dumper (#2)	125	30.0	10:00	11:00	
5	10:00	Dumper (#1)	125	30.0	10:30	11:30	
6	10:30	Dumper (#2)	125	30.0	11:00	12:00	
7	11:30	Dumper (#1)	125	30.0	12:00	13:00	
8	12:00	Dumper (#2)	125	30.0	12:30	13:30	
9	14:00	Dumper (#1)	125	30.0	14:30	15:30	
10	14:30	Dumper (#2)	125	30.0	15:00	16:00	
11	15:30	Dumper (#1)	125	30.0	16:00	17:00	
12	16:00	Dumper (#2)	125	30.0	16:30	17:30	

Figur 20: Batteri - Laddningsschema



Figur 21: Charger Power Demand

Eftersom laddaren och kompressorn arbetar samtidigt är den högsta toppen i effektbehov 276 kW för hela anläggningen.

4.3 Jämförelse mellan de två exemplen

Tabell 11: Jämförelse mellan exemplen (medelvärden används)

Exempel	1 st vätgas grävmaskin & 2st vätgas dumper	1 st vätgas grävmaskin & 2st batteri dumper
Effektkrav för byggarbetsplatsen	50 kW	276 kW
Elbehov för byggarbetsplatsen	302 kWh/dag (kompressor)	175 kWh/dag (kompressor) 800 kWh/dag (laddning) 975 kWh/dag totalt
Vätgasbehov för byggarbetsplatsen	112 kg H ₂ /dag	45 kg H ₂ /dag
Vätgaskompressor	0.25 kg H ₂ /min	0.10 kg H ₂ /min
Laddare	0 kW	250 kW

5 Källor

NREL. (den 07 05 2018). *Next Generation Hydrogen Station Composite Data Products: All Stations*. Hämtat från nrel.gov:
<https://www.nrel.gov/hydrogen/infrastructure-cdps-all.html>

Volvo CE. (2016). *Volvo performance manual*. Volvo CE.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidsäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB Box 857, 501 15 BORÅS Telefon: 010-516 50 00 E-post: info@ri.se , Internet: www.ri.se	
---	--

