

Väderbeständiga stål och svetsning av dem

Sakari Tihinen och Esa Virolainen

Valet av material är en viktig utgångspunkt i planeringen av en stålkonstruktion. Genom att välja rätt material uppnås stora fördelar. Bland de väderbeständiga stålen finns alternativ för många olika användningsområden och stålet kan fås med olika hållfasthet. Med väderbeständigt stål kan man samtidigt dra fördel av den högsta hållfastheten och den bästa korrosionsbeständigheten. På de flesta användningsområden målas inte det väderbeständiga stålet och koldioxidavtrycket i den färdiga konstruktionen är mindre jämfört med belagda ställösningar. På målade användningsområden sparar du både pengar och miljön, eftersom intervallet mellan underhållsmålningarna blir längre.

Väderbeständigt stål

Väderbeständigt stål är låglegerat stål med utmärkt beständighet mot atmosfärisk korrosion. Beständigheten mot atmosfärisk korrosion grundar sig på oxidlagret som bildas på ytan och som utgör ett tätt och enhetligt korrosionshämmande skyddslager på stålytan. Detta oxidlager kallas för patina. I materialstandarden EN 10025-5 benämns stål som konstruktionsstål med förbättrat motstånd mot atmosfärisk korrosion, men i allmänhet används begreppet väderbeständigt stål. Den engelska termen i standarden är på motsvarande sätt *steels with improved atmospheric corrosion resistance*. I allmänhet används beteckningen *weathering steel*, ibland även *weather resistant steel* och *weatherproof steel*.

Patinalagret i väderbeständigt stål skiljer sig från rost på vanligt stål vad gäller dess struktur och sammansättning. Ett normalt rostlager är skört och sprött och material lossnar lätt från det. Patinalagret innehåller komponenter med god vidhäftning till varandra och stålytan. På så sätt bildas ett skyddande lager som inte lossnar och som effektivt förhindrar att vatten och syre kommer i kontakt med stålytan. Korrosionen avstannar inte helt under det skyddande patinalagret, men korrosionen fördröjs så pass mycket att stålet kan användas i utomhusförhållanden ytan skyddsbeläggning.

Patinalagret på väderbeständigt stål måste utsättas för cykler av fukt och torka för att bildas. Det kräver med andra ord omväxlande regn och solsken. Växelvis fukt och torka orsakar kemiska reaktioner på ytan, som i sin tur leder till att ett skyddande patinalager bildas. Detta grundar sig på väderförhållanden, så patinalagret på väderbeständigt stål kan anses vara ett naturligt skyddslager. Väderbeständigt stål lämpar sig inte för förhållanden som är för fuktiga eller för torra, såsom öken eller under vatten. Delar av väderbeständigt stål som befinner sig under jord måste ytbehandlas precis som vanligt stål eller så måste en tillräcklig korrosionsmån beaktas.

Patinalagret tål inte stora saltmängder, så väderbeständigt stål bör inte användas i närheten av hav eller längs vägsträckor som är kraftigt saltade. På måttligt saltade vägsträckor kan väderbeständigt stål användas i till exempel broar. Minsta rekommenderade avstånd från kuster med hög salthalt är en kilometer. Alternativt kan salthalten i luften fastställas och nationella eller allmänna riktvärden gällande avstånd följas. Salthalten i Östersjön är i allmänhet så låg att väderbeständigt stål kan användas utmed kusten. I Finlands vatten kan

väderbeständigt stål användas i konstruktioner ovanför havet, till exempel i broar mellan fastlandet och öar.

Historien bakom väderbeständigt stål

I början av 1900-talet upptäckte man att korrosionsskyddet förbättrades om man tillsatte koppar i vanligt kolstål. Kopparlegerat stål användes i järnvägsmateriel. I slutet av 1920-talet utvecklades väderbeständigt stål samtidigt i både Tyskland och Förenta staterna. År 1932 lanserade US Steel stålet COR-TEN, som är känt över hela världen. COR-TEN-stålet (engl. Corrosion Resistant – Tensile Strength) spred sig över hela världen via licensierade tillverkare och kring detta bildades sammanslutningen COR-TEN, som bestod av ståltillverkare och som ordande COR-TEN-konferenser. Detta bidrog till utveckling av och ökad kunskap om väderbeständigt stål. Den finländska arkitekten Eero Saarinen använde COR-TEN-stål i en stor administrativ byggnad (John Deere Company) som han ritade 1960 i Förenta staterna. SSAB är idag den enda tillverkaren i Europa som tillverkar COR-TEN-stål på licens.

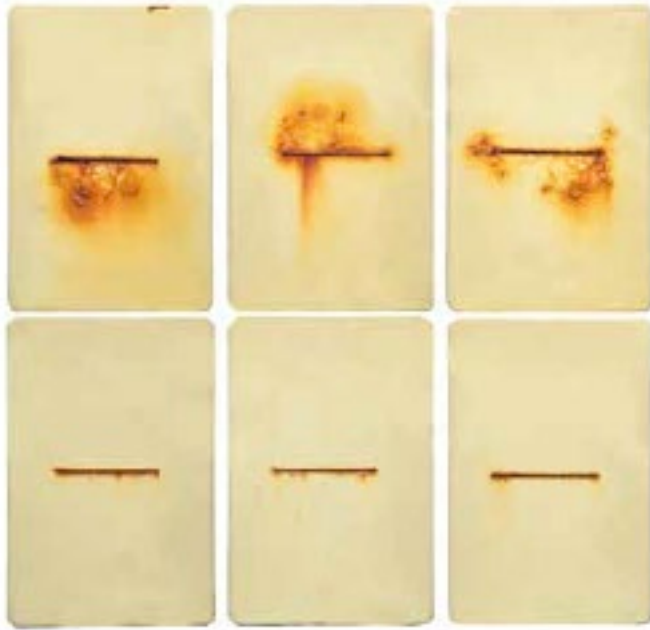
Väderbeständigt stål kan även målas

Målade stålprover testades i förhållanden motsvarande korrosivitetsklassen C5 på ön Bohus-Malmön i Sverige under sex och ett halvt år. Bohus-Malmön ligger på västkusten i Sverige, vid kanten av Nordsjön. Provserien bestod av fyra väderbeständiga stål och som referens användes ett vanligt stålprov. Proverna målades med ett målningsystem bestående av epoxi och polyuretan och den totala skiktjockleken på den målade ytan var 160 µm. Färgtillverkaren meddelade att målningsystemet lämpar sig för korrosivitetsklassen C3-M. En repa på 3 x 50 mm gjordes genom färgytan och provbitarna placerades i en provställning på korrosionstestfältet på Bohus-Malmön.

Resultaten visade att färgytan hade förstörts väsentligt runt repa i proverna av vanligt stål. Däremot kunde man se små tecken på korrosion endast i ett fåtal prover av väderbeständigt stål. Proverna av väderbeständigt stål hade i stor utsträckning förblivit så gott som oförändrade.

Proverna undersöktes närmare genom att avlägsna färg runt repa. Även i de väderbeständiga stålen hittade man en del rost som tagit sig in under färgen. Färgen lossnade lätt vid det rostade området på ytan av det vanliga stålet. Däremot fäste färgen fortfarande bra på den rostade ytan det väderbeständiga stålet och man var tvungen att ta i rejält för att få bort färgen. Korrosionen hade spridit sig cirka 4–5 gånger längre under färgen från repa på det vanliga stålet jämfört med rosten i proverna av det väderbeständiga stålet.

Korrosionstestet visade att väderbeständigt stål som målats fungerar betydligt bättre än vanligt stål i förhållanden med atmosfärisk korrosion av korrosivitetsklassen C5. Korrosionstestet fortsätter med en andra provserie som har målats med ett målningsystem bestående av zinksilikat och polyuretan (hållbarhet enligt korrosivitetsklassen C5).



Provbitar av vanligt stål i den översta raden och SSAB Weathering 355-stål i den nedersta raden efter korrosionstestet.

Kostnads- och miljökonsekvenser av väderbeständigt stål

Väderbeständigt stål håller utmärkt i minst 100–120 år i till exempel broar och ännu längre under små korrosionsförhållanden. Kostnaderna för att tillverka denna bro är ungefär liknande som för en målad stålbro. Kostnadsbesparingar börjar uppnås när bron monteras på plats. Färgytan på en målad bro skadas under monteringen och måste reparationsmålas efter monteringen. Under alla omständigheter går byggprojektet snabbare när målningssfasen och reparationsmålingen efter monteringen uteblir. Delarna i en bro som tillverkas av väderbeständigt stål kräver ingen underhållsmålning med några tiotals års mellanrum eller reparation av betongdelar i betongbroar. Den släpper inte heller färg som leder till mikroplaster i miljön. Koldioxidavtrycket är märkbart mindre än i en målad stålbro, eftersom koldioxidavtrycket från tillverkningen av färgen och själva målningssarbetet uteblir. Efter användning är delarna som tillverkats av väderbeständigt stål helt och hållet återvinningsbara. Motsvarande fördelar kan uppnås i till exempel byggnadsfasader och övrigt infrabyggande.

Olika slags väderbeständiga stål

Väderbeständiga stål lämpar sig för olika användningsändamål beroende på deras legering och hållfasthet. En utmärkt beständighet mot atmosfärisk korrosion uppnås genom att legera stålet med en liten mängd koppar, krom, nickel och kisel i lämplig proportion samt med fosfor i vissa stålsorter. Vad gäller legering kan väderbeständiga stål delas in i två grupper beroende på om de har legerats med fosfor. Med fosforlegering uppnås bättre korrosionsbeständighet, men samtidigt försämras materialets slagseghet och svetsningsegenskaper något. Fosforlegerat väderbeständigt stål, såsom COR-TEN A, används därför i estetiska objekt, till exempel fasader och konstverk. Tjockleken på plåtarna som används i fasader är i allmänhet 1–2 mm, då den högre korrosionsbeständigheten i fosforlegerat stål medför tydliga fördelar.

Väderbeständiga stål som tillverkats utan fosfor har utmärkta slagseghets- och svetsningsegenskaper och kan därför användas som konstruktionsstål i lastbärande konstruktioner. Dessa stål finns med olika hållfasthet för olika användningsändamål i slagseghetsklasserna 345–960 MPa. Genom att använda ett mer hållfast stål uppnås en mer hållbar konstruktion med lägre vikt. Man kan även genomföra konstruktionslösningar som inte är möjliga vid användning av mjukare stål. Stålen COR-TEN A och SSAB Weathering 700 kan fås förutom som varmvalsade produkter även som kallvalsad tunnplåt. Väderbeständigt stål används även för tillverkning av rör och hålprofiler.

Uppdatering av standarden EN 10025-5 och nya stålprodukter

En ny version av standarden EN 10025-5 (Varmvalsade konstruktionsstål. Del 5: Tekniska leveransbestämmelser för konstruktionsstål med förbättrat motstånd mot atmosfärisk korrosion) publicerades 2019. Tidigare omfattade standarden stål av sträckgränsklasserna 235 och 355 MPa och i uppdateringen tillades även sträckgränserna 420 och 460 MPa. Tjockleksområdet i SSAB:s nyligen utvecklade plåtprodukter på 420 och 460 MPa är 8–65 mm. Plåtprodukterna är termomekaniskt valsade, vilket gör att de har utmärkta svetsningsegenskaper. De nya stålen SSAB Weathering 420 ML och 460 ML är i provleveransfasen.

Väderbeständigt stål tillsammans med andra material

De flesta byggmaterialen kan användas med väderbeständigt stål. I användningen av byggmaterial bör man beakta att i början, när det skyddande patinalagret bildas, avger stålet rostvatten som kan missfärga andra material. Vi rekommenderar att rostvattnet samlas upp och leds till avloppet eller att man använder material som är enkelt att rengöra. Rostvattnet slutar vanligtvis rinna inom 2–6 år beroende på de lokala förhållandena.

Varmförzinkade delar kan fästas i en konstruktion som tillverkats av väderbeständigt stål. Väderbeständigt stål ger inte upphov till någon betydande galvanisk korrosion på förzinkade delar. Därför kan delar tillverkade av väderbeständigt stål fästas med varmförzinkade bultar och stora förzinkade delar kan fästas i väderbeständigt stål. Små delar av rostfritt stål kan användas i stora konstruktioner av väderbeständigt stål, såsom bultar i broar eller elstolpar. Större delar av rostfritt stål bör isoleras från väderbeständiga ståldelar. Ädlare metaller, såsom koppar, bör inte användas i direkt kontakt på grund av risken för galvanisk korrosion. Bultförbanden ska vara täta eller tätade med till exempel gummitätning för att säkerställa att inget vatten kommer in och orsakar spaltkorrosion. Alternativt kan bultförbanden planeras så att kontaktytan minimeras och ventilationen säkerställs.

Användningsområden för väderbeständigt stål

Väderbeständigt stål har använts för många olika ändamål i nästan hundra år. Det har använts framgångsrikt i infrastruktur, såsom broar, fasader och elstolpar. Det har varit ett populärt material även i konstverk. Väderbeständigt stål som målats används i järnvägsmateriel, såsom spår- och järnvägsvagnar. I Helsingfors nya spårvagnar, tillverkade av Skoda Transtech, har man använt SSAB Weathering 550-stål. Det målade SSAB Weathering 550-stålet ökar färgens livslängd och minskar behovet av underhållsmålning. Hållfast

väderbeständigt stål har även använts i malmvagnar, som kräver hög hållfasthet. Samtidigt ger den högre korrosionsbeständigheten fördelar.

Väderbeständigt stål används i hög grad i elstolpar i Förenta staterna och det lämpar sig utmärkt för detta ändamål även i de nordiska länderna. Färgen i det väderbeständiga stålet smälter in fint i naturen.

Sibbo storskogs bro Vargtassen byggdes i Vanda 2019 och förenar Hanaböle träsk friluftscener med Sibbo storskogs nationalpark. Den 20 meter höga och 126 meter långa bron för gång- och cykeltrafik är tillverkad av COR-TEN B-stål och har ett däck av tryckimpregnerat trä. Bron har ritats av WSP Finland. Teräsrakenneyhdistys gav bron en utmärkelse i 2020 års stålkonstruktionstävling.

Finlands längsta bro av väderbeständigt stål ger en landsväg över Kemi älv till Tervola. Bron blev färdig 1975, så den har använts i 46 år. Den 494 meter långa bron är en stål-betongkonstruktion, vars stålbjälkar har tillverkats av väderbeständigt stål.

Takkonstruktionen i Tel Avivs järnvägsstation i Israel består av stålrör. Konstruktionen är utmanande att underhålla, varför man använde stålrör tillverkade av COR-TEN B. Tack vare det väderbeständiga COR-TEN B-stålet kan intervallerna mellan underhållsmålingarna förlängas och underhållsbehovet minskas.

Uleåborgs hus för tekniska verk, det så kallade Miljöhuset, färdigställdes 2011 och som fasadmateriäl valdes COR-TEN A-stål. Huset ritades av arkitektbyrån Vauhtiviiva och huvudplanerare var arkitekt Juha Pasanen. I planeringen av huset har man betonat miljövänligheten, varför CORTEN-stålet är ett utmärkt val för fasaden.

Svetsbarheten hos väderbeständiga stål

Vad gäller svetsbarhet är väderbeständiga stål nästan likvärdiga med konstruktionsstål av samma sträckgränsklass. Den största skillnaden när man planerar svetsningsarbetet är valet av tillsatsmaterial och att man då uttryckligen beaktar väderbeständigheten. Andra särskilda omständigheter är behovet av eventuell förvärmning i tjockare plåtar samt gränser för värmeförsel vid svetsning av ultrahållfast väderbeständigt SSAB Weathering 960-stål.

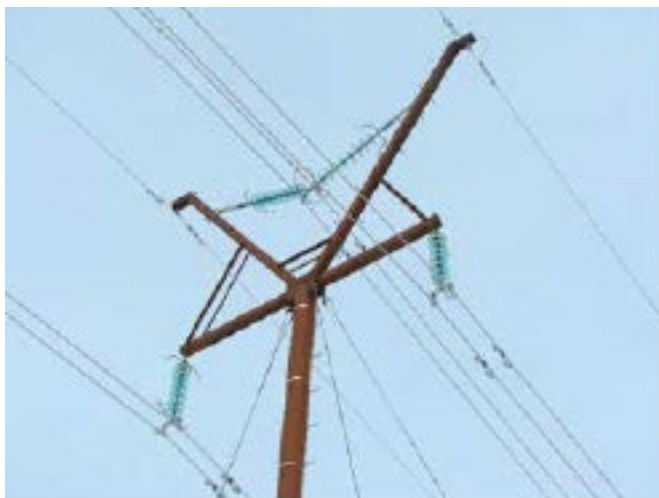
SSAB har nyligen utvecklat en ny typ av väderbeständiga plåtprodukter för tjockleksområdet 8–65 mm, med produktnamnet SSAB Weathering ML. Plåtarna tillverkas för sträckgränsklasserna 355, 420 och 460 MPa. Kundfördelen i Weathering ML-produkterna är den utmärkta svetsbarheten. I maskinverkstaden innebär bättre svetsbarhet ett minskat behov av förvärmning jämfört med traditionella väderbeständiga stål. Dessutom har Weathering ML-stålen utmärkt slagseghet i en driftstemperatur på -50 °C, både vad gäller grundmetallen och svetsen. I slutet av artikeln presenteras resultaten av MAG- och pulverbågsvetsningstester av SSAB Weathering 420 ML- och 460 ML-plåtar.

Tabell 1. Väderbeständiga stål tillverkade av SSAB. COR-TEN A är ett fosforlegerat stål. De övriga stålsorterna är konstruktionsstål tillverkade utan fosfor. Mer information om olika slags stål finns på SSAB:s webbplats.

Stålsort	Sträckgräns (min. MPa)	Tjockleksområde (mm)
COR-TEN A	345	0,5–12,7
COR-TEN B	345	2–40
SSAB Weathering 355 ML	355	8–65
SSAB Weathering 420 ML	420	8–65
SSAB Weathering 460 ML	460	8–65
SSAB Weathering 550	550	3–6,1
SSAB Weathering 700	700	0,8–6,1
SSAB Weathering 960	960	2,5–6,0



Till fasaden på Uleåborgs stads Miljöhus har man valt miljövänligt COR-TEN A-stål.



Elstolpe tillverkad av väderbeständiga stål i Tornedalen.



Sibbo storskogs bro tillverkad av COR-TEN-stål smälter väl in i den omgivande naturen.



Finlands längsta bro tillverkad av väderbeständigt stål 1975. Bron ligger i Tervola.



I takkonstruktionen på Tel Avivs järnvägsstation har man använt målade COR-TEN B-rör.

Tabell 2. Val av tillsatsmaterial vid svetsning av väderbeständiga stål enligt standarden EN 10025-5:2019*). 111: metallbågsvetsning, 135: MAG-svetsning, 121: pulverbågsvetsning med trådelektrod.

Svetsningsprocess	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3
111	Motsvarande	2,5 % Ni	1 % Cr + 0,5 % Mo
135	Motsvarande	2,5 % Ni	1 % Cr + 0,5 % Mo
121	Motsvarande	2,0 % Ni	1 % Cr + 0,5 % Mo

Alternativet "Motsvarande" innehåller: > 0,4 % Cu och andra legeringsämnen.

*) Källa EN 1090-2, tabell 6.

Val av tillsatsmaterial

Säkerställ väderbeständigheten i svetsfogar i väderbeständiga stål genom att följa anvisningarna i den europeiska standarden EN 1090-2: 2018 (Utförande av stål- och aluminiumkonstruktioner. Del 2: Stålkonstruktioner). Väderbeständigheten i den färdiga svetsen ska vara på samma nivå som i grundmetallen. Enligt standarden EN 1090-2 ska tillsatsmaterialets sammansättning vara i enlighet med alternativ 1, 2 eller 3 i tabell 2. Den allmänna principen är att försöka välja tillsatsmaterial så att dess kemiska sammansättning motsvarar grundmetallen, det vill säga är i enlighet med alternativ 1 i tabell 2. Tillsatsmaterial i enlighet med alternativ 2 krävs om konstruktionen planeras för en driftstemperatur på -50 °C (NL, ML). CrMo-tillsatsmaterial enligt alternativ 3 är ursprungligen avsett för svetsning av varmhållfast stål 13CrMo4-5, och i praktiken behövs det inte vid svetsning av SSAB:s väderbeständiga stål.

Legeringsmetoden för tillsatsmaterialet enligt alternativ 1 motsvarar grundmetallen. Valet av tillsatser i SSAB Weathering sträckgränsklasser 355–460 och COR-TEN-stålen görs enligt alternativ 1 och det finns ett stort utbud av tillsatser för dessa sträckgränsklasser. Slagseghetsklassen vid låg temperatur för SSAB Weathering ML- och NL-stål 27J / -50 °C gör det svårare att välja tillsatsmaterial. Det finns ett begränsat utbud av tillsatsmaterial enligt alternativ 1 med en slagseghetsgaranti på -50 °C. För pulverbågsvetsning finns för närvarande endast en pulver-trådkombination med en slagseghetsgaranti på -50 °C, Bavaria BF10 MW

(pulver) + BA-S2NiCu (tråd). I slutet av artikeln presenteras resultaten av svetsningstesterna med Bavarias kombination.

Tillsatsmaterial enligt alternativ 2 finns för pulverbågs svetsning av Weathering 355–460-plåtar med en slagseghetsgaranti ända till -60 °C Charpy- V, till exempel det välfungerande systemet Esab OK Flux 10.62 (pulver) + OK Autrod 13.27 (tråd). I slutet av artikeln presenteras resultaten av svetsningstesterna av Weathering 460 ML-stål även med Esabs kombination och slagseghetstesterna i en temperatur på -60 °C .

SSAB Weathering 700- och 960-stålen är ultrahållfasta väderbeständiga formatklippta tunnplåtar. Förutom tillsatsmaterial med lägre sträckgräns och ”motsvarande” legering enligt alternativ 1, görs valet av tillsatsmaterial ofta även utifrån grundmetallens sträckgränsklass. Till exempel för Weathering 960-stål kan man överväga tillsatsmaterial av sträckgränsklassen 890 MPa, som vanligtvis har en relativt hög nickellegering.

Enligt standarden EN 1090-2 ska man i svetsningar av stål som tål atmosfärisk korrosion i regel använda tillsatsmaterial enligt tabell 1. Alternativt kan man använda olegerade tillsatsmaterial i överlappnings- eller stumsvetsningar vid svetsning av flera strängar, både botten svetsning och fyllnadssvetsning. Då krävs ytsvetsning med väderbeständiga tillsatsmaterial.

Förvärmning

En ökning av arbetstemperaturen vid svetsning fördröjer nedkylningen och minskar hårdningen. Fogens hårdhetsnivå sjunker och risken för vätesprickning minskar. Behovet av ökad arbetstemperatur vid svetsning ökar vid stora ämnestjocklekar och svetsning med låg värmestillförsel. Förutsättningen för uppkomsten av vätesprickning är dessutom mängden väte som svetsmetallen innehåller och storleken på svetsningens restspänning.

Vid svetsning av COR-TEN-stål behöver man för tunna ämnestjocklekar i allmänhet inte utföra förvärmning vid användning av tillsatsmaterial med låg vätehalt (väteklass < H5). Jämfört med vanliga S355-konstruktionsstål har COR-TEN-stålen en aning starkare legering. För ämnestjocklekar på över 20–30 mm rekommenderas därför förvärmning $+100\text{--}200\text{ °C}$. Förvärmningen fastställs enligt metod A i standarden EN 1011-2 (Rekommendationer för svetsning av metalliska material. Del 2: Bågs svetsning av ferritiska stål).

Den termomekaniska valsningsprocessen ger stålet en målenlig hållfasthet med lägre legering. Tack vare den låga kolekvivalenten är termomekaniskt valsade stål lättsvetsade. Vad gäller de nyligen utvecklade termomekaniskt valsade väderbeständiga SSAB Weathering 355–460 ML-plåtarna kan man ofta undgå förvärmning helt vid användning av tillsatsmaterial med låg vätehalt och en värmestillförsel på $Q \geq 1,5\text{ kJ/mm}$. Svetsbarheten hos Weathering ML-plåtarna behandlas mer ingående i slutet av artikeln i samband med svetsningsresultaten.

För tunna ($t \leq 8\text{ mm}$) Weathering 550-, 700- och 960-stål behövs ingen förvärmning om man använder tillsatsmaterial med låg vätehalt (väteklass < H5) och följer de allmänna svetsningsanvisningarna för hållfasta stål.

Tabell 3. Rekommenderade $t_{8/5}$ -nedkylningstider för SSAB Weathering och COR-TEN®-stål.

Stålsort	$t_{8/5}$ minst	$t_{8/5}$ högst
SSAB Weathering 355	5 sekunder	30 sekunder
SSAB Weathering 420ML, 460ML	5 sekunder	25 sekunder
COR-TEN B, B-D	5 sekunder	25 sekunder
SSAB Weathering 550	Anges inte	20 sekunder
SSAB Weathering 700	Anges inte	15 sekunder
SSAB Weathering 960	Anges inte	15 sekunder ^{1, 2)}

1) $t_{8/5}$ = 15 sekunder gäller tillsatsmaterial med lägre sträckgräns.

2) För tillsatsmaterial med samma sträckgräns $t_{8/5}$ = högst 4 sekunder.

Rekommenderad nedkylningstid $t_{8/5}$

Svetsfogens egenskaper beror på fogens nedkylningshastighet, som påverkas av värmeförlusten Q , plåttjockleken, fogtypen och arbetstemperaturen.

Mikrostrukturförändringar, som är betydande med tanke på svetsämnet och den värmepåverkade zonen, sker mellan 800 och 500 °C när fogen svalnar. Storheten som beskriver nedkylningshastigheten är nedkylningstiden $t_{8/5}$, vilket innebär den tid som krävs för att överskrida detta temperaturområde. $t_{8/5}$ -tiden kan fastställas enligt de allmänna anvisningarna i standarden EN 1011-2. De rekommenderade $t_{8/5}$ -tiderna för SSAB:s väderbeständiga stål presenteras i tabell 3. Utifrån den rekommenderade nedkylningstiden kan värmeförlusten och övriga svetsningsparametrar fastställas.

Det ultrahållfasta SSAB Weathering 960-stålet är känsligare för värmeförlust vid svetsning. Vid användning av tillsatsmaterial med samma sträckgräns måste värmeförlusten begränsas så att den kalkylerade $t_{8/5}$ -tiden inte överskrider fyra sekunder, tabell 3. I planeringsstadiet måste man med tanke på det praktiska svetsningsarbetet besluta om tillsatsmaterialet i Weathering 960-stålkonstruktionen ska ha samma eller lägre sträckgräns. Den rekommenderade nedkylningstiden ≤ 4 sekunder innebär en liten värmeförlust, vilket kan uppnås med en svetsningsprocess med låg värmeförlust, såsom puls-MAG-svetsning eller laser-MAG-hybridsvetsning. Om man kan planera svetsningen så att tillsatsmaterial med lägre sträckgräns används, kan en större värmeförlust ($t_{8/5} \leq 15$ sekunder) och alla sedvanliga svetsningsprocesser användas.

Utmärkt svetsbarhet i SSAB Weathering ML-plåtar

Tillverkningsprocessen för SSAB:s nyligen utvecklade Weathering ML-plåtar lämpar sig utmärkt för tillverkning av svetsade, tjocka väderbeständiga plåtar. Tack vare den termomekaniska behandlingen är stålets kolhalt och kolekvivalent relativt låga jämfört med traditionellt tillverkade väderbeständiga stål. Kolekvivalenten för stål presenteras i tabell 4. Låga kolekvivalenter möjliggör svetsning av stålet till och med utan förvärmning, om man använder tillsatsmaterial med låg vätehalt (väteklass <H5) och värmeförlusten är högst 1,5 kJ/mm. För tjocka plåtar (tjocklek ≥ 40 mm för enskild plåt) är det dock fördelaktigt att använda förvärmning (100–125 °C). Om värmeförlusten dessutom är låg (Q under 1,0 kJ/mm) måste behovet av förvärmning kontrolleras enligt metod A i standarden EN 1011-2. Rekommendationer om förvärmning av SSAB Weathering ML-plåtarna presenteras i tabell 5.

Tabell 4. Kolekvivalenter (CEV) för SSAB Weathering ML-stål.

Stål	Tjockleksområde (mm)	CEV typ.	CEV max.
Weathering 355 ML	8...65	0,37	0,42
Weathering 420 ML	8...65	0,41	0,45
Weathering 460 ML	8...65	0,43	0,45

Tabell 5. Rekommendation om förvärmning av SSAB Weathering 355ML-, 420ML- och 460ML-plåtar (EN 1011-2 och metod A). HD = vätehalt i tillsatsmaterial (ml/100g) och Q = värmeförsel (kJ/mm).

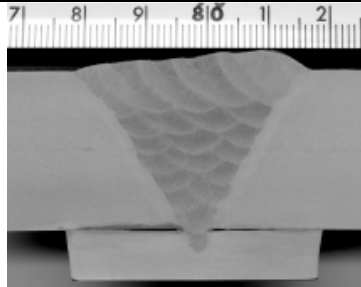
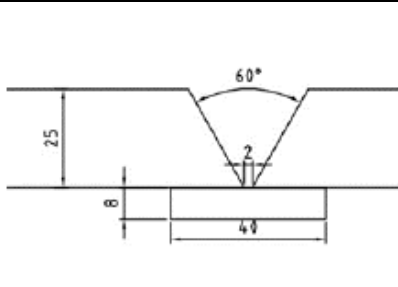
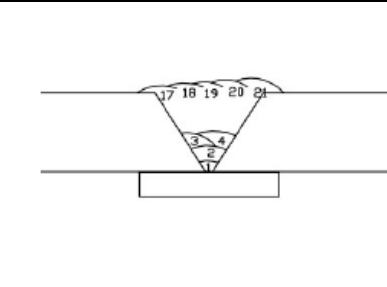
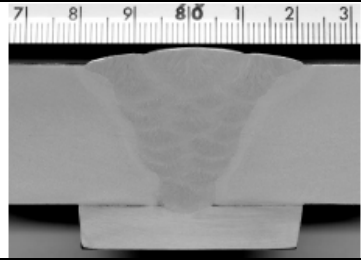
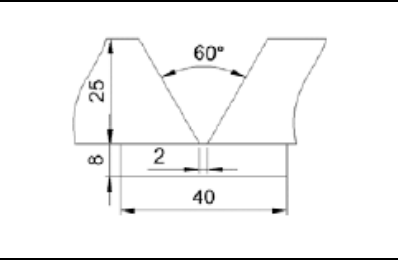
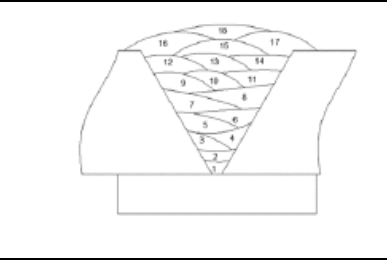
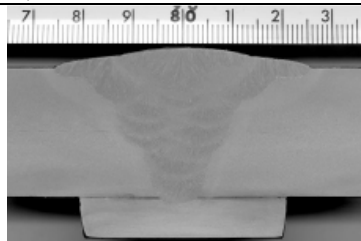
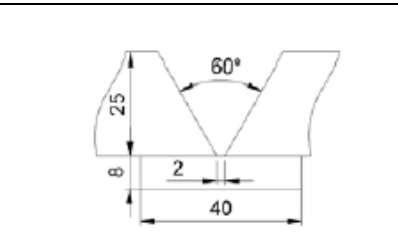
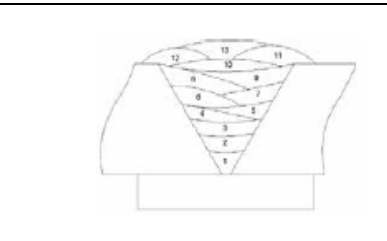
Tjocklek på sammansatt plåt (mm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	≤120
HD ≤ 5 ml/100 g 1,0 ≤ Q < 1,5 kJ/mm	20 °C						75 °C					
HD ≤ 5 ml/100 g Q ≥ 1,5 kJ/mm	20 °C											
HD ≤ 10 ml/100 g 1,0 ≤ Q < 2,5 kJ/mm	20 °C				100 °C			125 °C				
HD ≤ 10 ml/100 g 1,5 ≤ Q < 2,5 kJ/mm	20 °C						100 °C					
HD ≤ 10 ml/100 g Q ≥ 2,5 kJ/mm	20 °C											

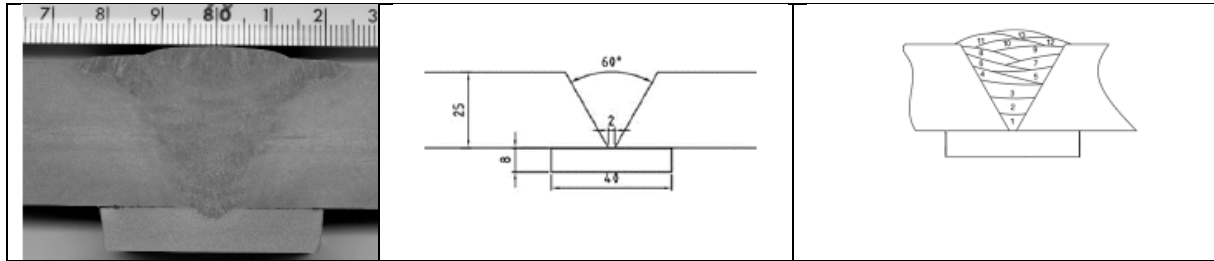
Tabell 6. Svetsningsparametrar vid stumsvetsning av SSAB Weathering 420 ML- och 460 ML-plåtar.

Stål	Plåttjocklek (mm)	Svetsningsprocess	Tillsatsmaterial	Fo g	Q (kJ/mm)	Förvärmning (°C)	Temperatur mellan strängar (°C)	t _{8/5} (s)
SSAB Weathering 420 ML	25	135/MAG	Lincoln, LNM28	V, 60 °	1,0	Ingen förvärmning krävs	100...150 °C	~ 7
SSAB Weathering 420 ML	25	121/SAW	Bavaria BF10MW & BA-S2NiCu	V, 60 °	2,0	Ingen förvärmning krävs	100...150 °C	~ 13
SSAB Weathering 420 ML	25	121/SAW	Bavaria BF10MW & BA-S2NiCu	V, 60 °	3,0	Ingen förvärmning krävs	100...150 °C ~ 24	
SSAB Weathering 460 ML	25	121/SAW	Esab OK Flux 10.62 och OK Autrod 13.27	V, 60 °	3,0	Ingen förvärmning krävs	100...150 °C	~ 24

Förutom det minskade behovet av förvärmning har den nya typen av väderbeständigt stål utmärkt slagseghet i den värmepåverkade zonen i låga driftstemperaturer. Resultaten av svetsningstesterna av 25 mm tjocka SSAB Weathering 420ML- och 460ML-plåtar presenteras i tabellerna 5–8. Weathering 420ML-plåten har svetsats Lincolns MAG-svetstråd enligt alternativ 1 i standarden EN 1090-2 och med pulverbåge, Bavaras tråd-pulverkombination, av slagseghetsklass 27 J @ -50°C. Weathering 460ML-plåten har pulverbågsvetsats med Esabs tråd-pulverkombination med hög nickelhalt (slagseghetsklass -60 °C) enligt alternativ 2 i standarden EN 1090-2. I tabell 8 kan man se att slagsegheten i den värmepåverkade zonen i Weathering ML-stålet förblir på en god nivå ända ned i en temperatur på -60 °C, även om värmetillförseln vid svetsningen har varit relativt stor, 3,0 kJ/mm, och den kalkylerade t8/5-nedkylningstiden 24 sekunder.

Tabell 7. Makrobilder, fogbilder och svetsningsordning för stumsvetsning.

Makrobild	Bild på fog	Svetsningsordning
SSAB Weathering 420 ML, MAG-svetsning och svetstråd: Lincoln LNM28, Q=1,0 kJ/mm		
		
SSAB Weathering 420 ML, pulverbågsvetsning och pulver & tråd: Bavaria BF10 MW & BA-S2NiCu, Q=2,0 kJ/mm		
		
SSAB Weathering 420 ML, pulverbågsvetsning och pulver & tråd: Bavaria BF10 MW & BA-S2NiCu, Q=3,0 kJ/mm		
		
SSAB Weathering 460 ML, pulverbågsvetsning och pulver & tråd: Esab OK Flux 10.62 & OK Autrod 13.27, Q=3,0 kJ/mm		



Tabell 8. Resultaten av Charpy-V slagseghetstester vid stumsvetsning, krav $\geq 27 \text{ J @ } -50 \text{ }^\circ\text{C}$. Fårans placering har angetts enligt standarden EN 9016: $V = \text{Charpy-V provstav}$, $W = \text{fåra i svetsmetallen}$, $H = \text{fåra i den värmepåverkade zonen}$, $T = \text{den fårade ytan går vinkelrätt från provbitens yta}$, a / b , där $a = \text{avståndet från svetsmetallens mittlinje eller smältgräns [mm]}$, $b = \text{avståndet mellan slagstavens yta och den närmaste plåtens yta [mm]}$

Stål	Värmetillförelse Q (kJ/mm)	t8/5 (s)	Tillsatsmaterial	Fårans placering	(°C)	Provstavens storlek	Slagenergi (J)			
							Tes t 1	Tes t 2	Tes t 3	Medelvärde
SSAB Weathering 420 ML	1	7	Lincoln LNM 28	VWT0/2	-50	10x10x55	69	58	64	64
				VHT1/2	-50	10x10x55	94	72	88	85
				VHT2/2	-50	10x10x55	70	263	260	198

Stål	Värmetillförelse Q (kJ/mm)	t8/5 (s)	Tillsatsmaterial	Fårans placering	(°C)	Provstavens storlek	Slagenergi (J)			
							Tes t 1	Tes t 2	Tes t 3	Medelvärde
SSAB Weathering 420 ML	2	13	Bavaria BF 10 MW + S2NiCu	VWT0/2	-50	10x10x55	116	48	129	98
				VHT1/2	-50	10x10x55	292	239	69	200
				VHT2/2	-50	10x10x55	255	307	256	273

Stål	Värmetillförelse Q (kJ/mm)	t8/5 (s)	Tillsatsmaterial	Fårans placering	(°C)	Provstavens storlek	Slagenergi (J)			
							Tes t 1	Tes t 2	Tes t 3	Medelvärde
SSAB Weathering 420 ML	3	24	Bavaria BF 10 MW + S2NiCu	VWT0/2	-50	10x10x55	39	71	90	67
				VHT1/2	-50	10x10x55	131	75	84	97
				VHT2/2	-50	10x10x55	238	249	60	182

Stål	Värmetillförelse Q (kJ/mm)	t8/5 (s)	Tillsatsmaterial	Fårans placering	(°C)	Provstavens storlek	Slagenergi (J)			
							Tes t 1	Tes t 2	Tes t 3	Medelvärde
SSAB Weathering 460 ML	3	24	Esab OK Flux 10.62 + OK Autrod 13.27	VWT0/2	-60	10x10x55	115	117	120	117
				VHT0/2	-60	10x10x55	50	41	41	44

				VHT1/2	-60	10x10x55	74	76	72	74
				VHT2/2	-60	10x10x55	40	33	54	42
				VHT5/2	-60	10x10x55	256	248	229	244

Tabell 9. Resultat av dragprov av stumsvetsningar, krav $R_m \geq 500$ MPa (S420), $R_m \geq 530$ MPa (S460).

Stål	Tillsatsmaterial	Q (kJ/mm)	T8/5 (s)	Test #	Tjocklek (mm)	Rp0.2 (MPa)	Rm (Mpa)	A (%)	Sprickans placering
SSAB Weathering 420 ML	Lincoln LNM 28	1	7	1.	25	494	630	24,2	Grundmetall
SSAB Weathering 420 ML	Lincoln LNM 28	1	7	2.	25	494	631	22,7	Grundmetall
SSAB Weathering 420 ML	Bavaria BF 10 MW + S2NiCu	2	13	1.	25	500	605	18,0	Svetsmetall
SSAB Weathering 420 ML	Bavaria BF 10 MW + S2NiCu	2	13	2.	25	501	602	18,0	Svetsmetall
SSAB Weathering 420 ML	Bavaria BF 10 MW + S2NiCu	3	24	1.	25	502	589	16,5	Svetsmetall
SSAB Weathering 420 ML	Bavaria BF 10 MW + S2NiCu	3 24	2.	25	497	583	15,7	Svetsmetall	
SSAB Weathering 460 ML	OK Flux 10.62 + OK Autrod 13.27	3	24	1.	25	491	599	17,0	Svetsmetall
SSAB Weathering 460 ML	OK Flux 10.62 + OK Autrod 13.27	3	24	2.	25	496	595	16,5	Svetsmetall

Sakari Tihinen

Senior Welding Specialist, IWE

SSAB Europe Oy

sakari.tihinen@ssab.com

och

Esa Virolainen

Senior Specialist

SSAB Europe Oy

esa.virolainen@ssab.com